

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

IRENE BIDA DE ARAÚJO

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE DO SUBSTRATO NA ADERÊNCIA E
MORFOLOGIA DE REVESTIMENTO APLICADO POR ASPERSÃO TÉRMICA

CURITIBA

2018

IRENE BIDA DE ARAÚJO

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE DO SUBSTRATO NA ADERÊNCIA E
MORFOLOGIA DE REVESTIMENTO APLICADO POR ASPERSÃO TÉRMICA

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, área de concentração Manufatura.

Orientador: Prof. Dr. Ramón Sigifredo Cortés Paredes

CURITIBA

2018

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

A663e

Araújo, Irene Bida de

Estudo da influência da rugosidade do substrato na aderência e morfologia de revestimento aplicado por aspersão térmica / Irene Bida de Araújo. – Curitiba, 2018.

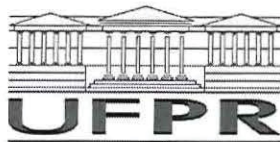
Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2018.

Orientador: Ramón Sigifredo Cortés Paredes.

1. Aspersão térmica. 2. Preparação de superfícies. 3. Aspereza de superfície. I. Universidade Federal do Paraná. II. Paredes, Ramón Sigifredo Cortés. III. Título.

CDD: 671.734

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
MECÂNICA

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA MECÂNICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **IRENE BIDA DE ARAÚJO** intitulada: **Estudo da influência da Rugosidade do Substrato na Aderência e Morfologia de Revestimento Aplicado por Aspersão Térmica**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

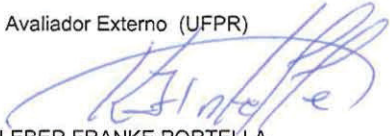
Curitiba, 12 de Abril de 2018.



RAMON SIGIFREDO CORTES PAREDES
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)



GUSTAVO BAVARESCO SUCHARSKI
Avaliador Externo (UFPR)



KLEBER FRANKE PORTELLA
Avaliador Externo (LACTEC)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, João de Araújo Filho e Anita Janiski Bida de Araújo pelo esforço e dedicação na minha formação acadêmica. Fornecendo uma estrutura rígida onde sempre posso me apoiar e tendo a certeza que minhas escolhas serão aceitas.

Ao meu marido, Eng. Allison Fernandes Siqueira por sempre respeitar e apoiar minhas escolhas. Por me incentivar nos momentos de dificuldades e desfrutar dos momentos de alegria.

Ao Prof. Dr. Ramón Sigifredo Cortés Paredes, por me orientar nas atividades a serem desenvolvidas nesta pesquisa. Pela dedicação em transmitir seus conhecimentos e enriquecer as discussões levantadas durante esse processo.

Aos amigos e pesquisadores, Prof. Dr. Anderson Geraldo Marenda Pukasiewicz e Prof. Dr. Gustavo Bavaresco Sucharski, pelo encorajamento na decisão de realizar esse estudo e por serem meus coorientadores informais.

Aos amigos e colegas de trabalho, Prof. Msc Eng. Rodolpho Fernando Váz e Eng. André Chicowski, pelas discussões acerca dos estudos desenvolvidos.

Aos bolsistas do Lactec Pedro Polato Bites Costa e Leonardo Bonotto Meciano, pelos auxílios nas preparações das amostras e deposição dos revestimentos.

A todos aqueles, que de algum modo, mesmo não citados, estiveram ao meu lado durante a realização deste trabalho.

A Petróleo Brasileiro S/A PETROBRAS, como financiadora do projeto de pesquisa e desenvolvimento P&D.

Ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento Lactec pela execução de projeto de pesquisa e desenvolvimento P&D que possibilitou a execução deste trabalho, além da disponibilização do uso dos laboratórios, equipamentos e insumos para deposição e caracterização das amostras.

A Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia e Departamento de Mecânica, que disponibilizaram o uso de seus laboratórios e instalações.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica PGMEC, que aceitou a proposta de estudos.

RESUMO

Revestimentos depositados por aspersão térmica são utilizados para os mais diversos fins, tais como resistência ao desgaste, corrosão, melhoria de propriedades mecânica, processos erosivos, entre outros. A aderência do revestimento ao substrato é essencial para a vida útil do revestimento e, esta está atrelada à quantidade de pontos de ancoramento, que se formam a partir da preparação da superfície do substrato. Destacam-se, como preparação da superfície, níveis ideais de limpeza e rugosidade. E para que esses níveis sejam atingidos o processo de preparação da superfície mais utilizada é o jateamento. Porém, parâmetros inadequados de jateamento podem criar distorções ou mudanças dimensionais, o que podem reduzir os valores de aderência. Sendo assim, neste trabalho foram comparados dois diferentes processos de jateamento: por esponja e por sucção para verificar as características do perfil de rugosidade criado por cada processo em três diferentes materiais. Foram variados parâmetros de jateamento de acordo com a característica de cada processo. Notou-se que ao elevar a dureza do substrato ocorre redução na rugosidade do material, para todos os processos. Assim como, observou-se uma maior influência da granulometria do abrasivo, seguido da pressão de jateamento. O tipo de abrasivo não teve uma influência significativa na rugosidade. O nível de partículas abrasivas incrustadas no substrato tiveram comportamentos diferentes de acordo com o processo utilizado. Para os resultados de medição de fração de óxidos e poros do revestimento mostraram-se satisfatórios. Os resultados de aderência ficaram dentro do esperado para revestimentos depositados por aspersão térmica pelo processo de arco elétrico, principalmente considerando a deposição de alumínio.

Palavras chave: aspersão térmica, preparação de superfície, rugosidade.

ABSTRACT

Coatings deposited by thermal spraying are used for a variety of purposes, such as wear resistance, corrosion, mechanical properties improvement, erosive processes, among others. The adhesion of the coating to the substrate is essential for the life of the coating. Such grip is tied to the number of anchor points. Such anchoring points, which are formed from the preparation of the substrate surface. Ideal surface cleaning and roughness levels stand out as a surface preparation. And for these levels to be reached the process of preparation of the most used surface is the blasting. However, inadequate blasting parameters can create distortions or dimensional changes, which can reduce adhesion values. Thus, in this work two different blasting processes were compared: by sponge and suction to verify the characteristics of the roughness profile created by each process in three different materials. Various blasting parameters were varied according to the characteristic of each process. It was noticed that in raising the hardness of the substrate there is reduction in the roughness of the material, for all the processes. As well, a greater influence of the granulometry of the abrasive was observed, followed by the blasting pressure. The type of abrasive had no significant influence on the roughness. The level of abrasive particles embedded in the substrate had different behaviors according to the process used. For the results of measurement of fraction of oxides and pores of the coating are satisfactory. The adhesion results were within the expected for depositor coatings by thermal sprinkling by the electric arc process, especially considering the deposition of aluminum.

Keywords: thermal spraying, surface preparation, roughness.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO POR ASPERSÃO TÉRMICA.	27
FIGURA 2 - ESQUEMA DE FORMAÇÃO DE UM REVESTIMENTO POR ASPERSÃO TÉRMICA.	28
FIGURA 3 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DA PISTOLA PARA ASP.	30
FIGURA 4 - ADESÃO DE REVESTIMENTO DE NICRALY AO AÇO SAE 1010 EM FUNÇÃO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL.....	32
FIGURA 5 - GRAUS DE CORROSÃO E LIMPEZA	35
FIGURA 6 - REPRESENTAÇÃO DA RUGOSIDADE MÉDIA RA.	37
FIGURA 7 - EFEITO DO CALCULO DA MÉDIA SOBRE O VALOR DE RA.	38
FIGURA 8 - MODOS DE FALHA DO REVESTIMENTO NO ENSAIO DE ADERÊNCIA	41
FIGURA 9 - MODO ESQUEMÁTICO DE AVALIAÇÃO DA FALHA.	42
FIGURA 10 - PADRÕES PARA AVALIAÇÃO DAS TRINCAS E DESCONTINUIDADES EM CORPOS DE PROVA REVESTIDOS E ENSAIADOS POR DOBRAMENTO. CONDIÇÃO (A) IDEAL, (B) MARGINAL E (C) REJEITADA.	43
FIGURA 11 - EQUIPAMENTO SPONGE-JET, MODELO RASPTREME.	44
FIGURA 12 - ESQUEMA DAS CARACTERÍSTICAS DO ABRASIVO CONVENCIONAL PARA JATEAMENTO. (A) PARTÍCULA ABRASIVA EM MOVIMENTO E SUBSTRATO COM CAMADA DE ÓXIDO, (B) CONTATO DO ABRASIVO COM A SUPERFÍCIE A SER JATEADA E (C) FRAGMENTOS DA PARTÍCULA ABRASIVA, CAMADA DE ÓXIDO PARCIALMENTE REMOVIDA.....	46
FIGURA 13 - ESQUEMA DAS CARACTERÍSTICAS DO ABRASIVO SPONGE-JET PARA JATEAMENTO. (A) ESPONJA COM ABRASIVO IMPREGNADO EM MOVIMENTO E SUBSTRATO COM CAMADA DE ÓXIDO, (B) CONTATO COM DA ESPONJA COM A SUPERFÍCIE A SER JATEADA E (C) ESPONJA E CAMADA DE ÓXIDO PARCIALMENTE REMOVIDA.	47
FIGURA 14 - EQUIPAMENTO MARCA PINOVO, MODELO PISYSTEM100.	48
FIGURA 15 – MICROSCÓPIO MARCA OLYMPUS, MODELO BX51M	52
FIGURA 16 - MICRODURÔMETRO MARCA EMCOTEST, MODELO DURASCAN 20.	52
FIGURA 17 - DISPOSITIVO PICONNECT COM ACESSÓRIO ADAPTER FLAT.....	53

FIGURA 18 - SABER BLAST NOZZLE #8.	54
FIGURA 19 - MOVIMENTOS QUE CONSTITUEM UM PASSE DE PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE.....	55
FIGURA 20 - RUGOSÍMETRO PORTÁTIL MITUTOYO SJ210.	55
FIGURA 21 - PERFILÔMETRO TAYLOR HOBSON CCI HD.	56
FIGURA 22 - MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA MARCA TESCAN, MODELO VEJA 3.....	57
FIGURA 23 - EXEMPLO DE CONVERSÃO DE TONS DE CINZA PARA CORES...58	
FIGURA 24 - ARCO ELÉTRICO MARCA METALLISATION, MODELO S350 (16). .59	
FIGURA 25 - EQUIPAMENTO PARA ENSAIO DE DOBRAMENTO (A) VISTA GERAL E (B) VISTA SUPERIOR.	60
FIGURA 26 - MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAIOS MTS LANDMARK SERVOHYDRAULIC TEST SYSTEM COM CAPACIDADE DE 250KN.	61
FIGURA 27 - EQUIPAMENTO PARA ENSAIO DE ADERÊNCIA PULL OFF MARCA ELCOMETER MODELO 510 50S.	62
FIGURA 28 - EXEMPLO DE CONVERSÃO DE TONS DE CINZA PARA CORES...63	
FIGURA 29 - RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RA DE RUGOSIDADE MEDIDOS EM PERFILÔMETRO ÓTICO PARA OS CORPOS DE PROVA PREPARADOS PELO EQUIPAMENTO SPONGE-JET.....	67
FIGURA 30 - RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RT DE RUGOSIDADE MEDIDOS EM PERFILÔMETRO ÓTICO PARA OS CORPOS DE PROVA PREPARADOS PELO EQUIPAMENTO SPONGE-JET.....	68
FIGURA 31 - RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RZ DE RUGOSIDADE MEDIDOS EM PERFILÔMETRO ÓTICO PARA OS CORPOS DE PROVA PREPARADOS PELO EQUIPAMENTO SPONGE-JET.....	68
FIGURA 32 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RZ DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1020 PREPARADOS PELO SISTEMA SPONGE-JET.	69
FIGURA 33 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RT DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1020 PREPARADOS PELO SISTEMA SPONGE-JET.	70
FIGURA 34 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RA DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1020 PREPARADOS PELO SISTEMA SPONGE-JET.	70

FIGURA 35 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RZ DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045 PREPARADOS PELO SISTEMA SPONGE-JET.	71
FIGURA 36 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RT DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045 PREPARADOS PELO SISTEMA SPONGE-JET.	72
FIGURA 37 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RA DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045 PREPARADOS PELO SISTEMA SPONGE-JET.	72
FIGURA 38 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RZ DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045T PREPARADOS PELO SISTEMA SPONGE-JET.	73
FIGURA 39 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RT DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045T PREPARADOS PELO SISTEMA SPONGE-JET.	73
FIGURA 40 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RA DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045T PREPARADOS PELO SISTEMA SPONGE-JET.	74
FIGURA 41 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RZ DE RUGOSIDADE MEDIDOS EM PERFILÔMETRO ÓTICO PARA OS CORPOS DE PROVA PREPARADOS PELO EQUIPAMENTO PINOVO.	75
FIGURA 42 - RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RT DE RUGOSIDADE MEDIDOS EM PERFILÔMETRO ÓTICO PARA OS CORPOS DE PROVA PREPARADOS PELO EQUIPAMENTO PINOVO.....	75
FIGURA 43 - RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RA DE RUGOSIDADE MEDIDOS EM PERFILÔMETRO ÓTICO PARA OS CORPOS DE PROVA PREPARADOS PELO EQUIPAMENTO PINOVO.....	76
FIGURA 44 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RZ DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1020 PREPARADOS PELO SISTEMA PINOVO.	77
FIGURA 45 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RT DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1020 PREPARADOS PELO SISTEMA PINOVO.	77

FIGURA 46 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RA DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1020 PREPARADOS PELO SISTEMA PINOVO.	78
FIGURA 47 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RZ DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045 PREPARADOS PELO SISTEMA PINOVO.	78
FIGURA 48 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RT DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045 PREPARADOS PELO SISTEMA PINOVO	79
FIGURA 49 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RA DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045 PREPARADOS PELO SISTEMA PINOVO.	79
FIGURA 50 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RZ DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045T PREPARADOS PELO SISTEMA PINOVO.	80
FIGURA 51 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RT DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045T PREPARADOS PELO SISTEMA PINOVO.	81
FIGURA 52 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RA DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045T PREPARADOS PELO SISTEMA PINOVO.	81
FIGURA 53 - PORCENTAGEM DE PARTÍCULAS INSRUSTADAS NA SUPERFÍCIE DAS AMOSTRAS PREPARADAS PELO PROCESSO SPONGE-JET.....	83
FIGURA 54 - EXPERIMENTO S1 1020 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).....	83
FIGURA 55 - EXPERIMENTO S1 1045 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).....	84
FIGURA 56 - EXPERIMENTO S1 1045T (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM	

COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).....	84
FIGURA 57 - EXPERIMENTO S7 1020 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS: ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).....	85
FIGURA 58 - EXPERIMENTO S7 1045 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS: ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).....	85
FIGURA 59 - EXPERIMENTO P2 1045T (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS: ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).....	86
FIGURA 60 - EXPERIMENTO S9 1020 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).....	86
FIGURA 61 - EXPERIMENTO S9 1045 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).....	87
FIGURA 62 - EXPERIMENTO S9 1045T (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).....	87
FIGURA 63 - PORCENTAGEM DE PARTÍCULAS INSRUSTADAS NA SUPERFÍCIE DAS AMOSTRAS PREPARADAS PELO PROCESSO PINOVO.....	88
FIGURA 64 - EXPERIMENTO P2 1020 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCLAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).....	89
FIGURA 65 - EXPERIMENTO P2 1045 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM	

COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).....	89
FIGURA 66 - EXPERIMENTO P2 1045T (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).....	90
FIGURA 67 - EXPERIMENTO P4 1020 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).....	90
FIGURA 68 - EXPERIMENTO P4 1045 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).....	91
FIGURA 69 - EXPERIMENTO P4 1045T (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).....	91
FIGURA 70 - EXPERIMENTO P5 1020 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).....	92
FIGURA 71 - EXPERIMENTO P5 1045 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).....	92
FIGURA 72 - EXPERIMENTO P5 1045T (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).....	93
FIGURA 73 - EXPERIMENTO P2, (A),(B),(C),(D) E (E) CORPOS DE PROVA APÓS ENSAIO DE DOBRAMENTO.	94
FIGURA 74 - EXPERIMENTO P4, (A),(B),(C),(D) E (E) CORPOS DE PROVA APÓS ENSAIO DE DOBRAMENTO.	94

FIGURA 75 - EXPERIMENTO P5, (A),(B),(C),(D) E (E) CORPOS DE PROVA APÓS ENSAIO DE DOBRAMENTO.	94
FIGURA 76 - EXPERIMENTO S1, (A),(B),(C),(D) E (E) CORPOS DE PROVA ENSAIO DE DOBRAMENTO.....	95
FIGURA 77 - EXPERIMENTO S7, (A),(B),(C),(D) E (E) CORPOS DE PROVA APÓS ENSAIO DE DOBRAMENTO.	95
FIGURA 78 - EXPERIMENTO S9, (A),(B),(C),(D) E (E) CORPOS DE PROVA APÓS ENSAIO DE DOBRAMENTO.	95
FIGURA 79 - EXPERIMENTO P2, ASPECTO DAS AMOSTRAS (A) 1020, (B) 1045 E (C) 1045T APÓS ENSAIO DE ADERÊNCIA.....	97
FIGURA 80 - EXPERIMENTO P4, ASPECTO DAS AMOSTRAS (A) 1020, (B) 1045 E (C) 1045T APÓS ENSAIO DE ADERÊNCIA.....	98
FIGURA 81 - EXPERIMENTO P5, ASPECTO DAS AMOSTRAS (A) 1020, (B) 1045 E (C) 1045T APÓS ENSAIO DE ADERÊNCIA.....	98
FIGURA 82 - EXPERIMENTO S1, ASPECTO DAS AMOSTRAS (A) 1020, (B) 1045 E (C) 1045T APÓS ENSAIO DE ADERÊNCIA.....	99
FIGURA 83 - EXPERIMENTO S7, ASPECTO DAS AMOSTRAS (A) 1020, (B) 1045 E (C) 1045T APÓS ENSAIO DE ADERÊNCIA.....	99
FIGURA 84 - EXPERIMENTO S9, ASPECTO DAS AMOSTRAS (A) 1020, (B) 1045 E (C) 1045T APÓS ENSAIO DE ADERÊNCIA.....	100
FIGURA 85 - EXPERIMENTO P2, REGIÃO A. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUENTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).....	102
FIGURA 86 - EXPERIMENTO P2, REGIÃO B. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUENTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).....	103
FIGURA 87 - EXPERIMENTO P2, REGIÃO C. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUENTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).....	103
FIGURA 88 - EXPERIMENTO P4, REGIÃO A. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUENTES	

IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).....	104
FIGURA 89 - EXPERIMENTO P4, REGIÃO B. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).....	104
FIGURA 90 - EXPERIMENTO P4, REGIÃO C. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).....	105
FIGURA 91 - EXPERIMENTO P5, REGIÃO A. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).....	105
FIGURA 92 - EXPERIMENTO P5, REGIÃO B. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).....	106
FIGURA 93 - EXPERIMENTO P5, REGIÃO C. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).....	106
FIGURA 94 - EXPERIMENTO S1, REGIÃO A. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).....	107
FIGURA 95 - EXPERIMENTO S1, REGIÃO B. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).....	107
FIGURA 96 - EXPERIMENTO S1, REGIÃO C. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).....	108

FIGURA 97 - EXPERIMENTO S7, REGIÃO A. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).....	108
FIGURA 98 - EXPERIMENTO S7, REGIÃO B. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).....	109
FIGURA 99 - EXPERIMENTO S7, REGIÃO C. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).....	109
FIGURA 100 - EXPERIMENTO S9, REGIÃO A. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).....	110
FIGURA 101 - EXPERIMENTO S9, REGIÃO B. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).....	110
FIGURA 102 - EXPERIMENTO S9, REGIÃO C. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).....	110

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PROCESSOS DE ASPERSÃO TÉRMICA, SUAS SIGLAS E NOMES.	29
TABELA 2 - VALORES REPRESENTATIVOS DE CONDIÇÕES OPERACIONAIS DISPONIBILIZADAS PELOS PRINCIPAIS PROCESSOS DE ASPERSÃO TÉRMICA.	29
TABELA 3 - CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO DO ENSAIO DE DOBRAMENTO PARA APROVAÇÃO DO REVESTIMENTO.	43
TABELA 4 - TIPOS DE ABRASIVOS UTILIZADOS NO EQUIPAMENTO SPONGE- JET.	45
TABELA 5 - ADAPTADORES PINOVO.	49
TABELA 6 - REQUISITOS DE VAZÃO (M ³ /MIN) DE ACORDO COM A PRESSÃO FORNECIDA PARA BOCAL N°8 DO SPONGE-JET.	54
TABELA 7 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO REVESTIMENTO DEPOSITADO.	59
TABELA 8 - PARÂMETROS DE DEPOSIÇÃO DOS REVESTIMENTOS.	59
TABELA 9 - FATORES E NÍVEIS UTILIZADOS PARA O PINOVO.	64
TABELA 10 - ARRANJO ORTOGONAL L9 TAGUCHI PARA O PINOVO.	64
TABELA 11 - FATORES E NÍVEIS UTILIZADOS PARA O SPONGE-JET	65
TABELA 12 - ARRANJO ORTOGONAL L9 TAGUCHI PARA O SPONGE-JET	65
TABELA 13 - MATERIAIS UTILIZADOS COMO SUBSTRATO PARA O JATEAMENTO	66
Tabela 14 - valores de rugosidade encontrada para os experimentos selecionados.	82
TABELA 15 - RESULTADOS DE ADERÊNCIA OBTIDA ATRAVÉS DE ENSAIO CONFORME NORMA ASTM D4541 (MPA).	96
TABELA 16 - RESULTADOS DE ADERÊNCIA OBTIDA ATRAVÉS DE ENSAIO CONFORME NORMA ASTM C633 (MPA) (PINOVO).	101
TABELA 17 - RESULTADO DE MEDIÇÃO DE POROS E ÓXIDOS DOS REVESTIMENTOS DEPOSITADOS (%).	102
TABELA 18 - RESULTADOS DE ADERÊNCIA OBTIDA COM COLA ARALDITE E LOCTITE (MPA).	118

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 – FÓRMULA UTILIZADA PARA O CÁLCULO DO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE RA.	37
EQUAÇÃO 2 – FÓRMULA UTILIZADA PARA O CÁLCULO DO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE RZ.	39
EQUAÇÃO 3 – FÓRMULA UTILIZADA PARA O CÁLCULO DO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE SM.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	JUSTIFICATIVAS.....	23
3	HIPÓTESES	24
4	OBJETIVOS	25
4.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
5.1	ASPERSÃO TÉRMICA.....	26
5.1.1	Aspersão Térmica por Arco Elétrico	30
5.2	PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE	31
5.3	PARÂMETROS DE RUGOSIDADE.....	36
5.3.1	Rugosidade Média (Ra).....	36
5.3.2	Altura Máxima das Irregularidades (Ry).....	38
5.3.3	Altura das Irregularidades dos 10 pontos (Rz).....	38
5.3.4	Espaçamento Médio da Irregularidades (Sm).....	39
5.4	ADERÊNCIA.....	39
5.5	DOBRAMENTO	42
5.6	EQUIPAMENTOS PARA JATEAMENTO	43
5.6.1	Sponge-Jet	43
5.6.2	Pinovo.....	47
6	METODOLOGIA E MATERIAIS.....	51
6.1	PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE	51
6.1.1	Substratos.....	51
6.1.2	Jateamento	53
6.1.3	Medição de Rugosidade	55
6.1.4	Nível de Partículas Abrasivas Incrustadas.....	56
6.2	AVALIAÇÃO DO REVESTIMENTO	58
6.2.1	Parâmetros para Aspersão Térmica	58
6.2.2	Ensaio de dobramento.....	59
6.2.3	Ensaio de aderência	60
6.2.4	Microdureza Vickers	62
6.2.5	Morfologia da Estrutura Lamelar.....	63
6.3	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	63

7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
7.1	SUBSTRATO	66
7.2	RUGOSIDADE.....	67
7.3	NÍVEL DE PARTICULAS ABRASIVAS INCRUSTADAS	82
7.4	ENSAIO DE DOBRAMENTO.....	93
7.5	ENSAIO DE ADERÊNCIA	96
7.6	ANÁLISE DE POROSIDADE E NÍVEL DE ÓXIDOS	101
8	CONCLUSÕES	111
9	RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	113
	REFERÊNCIAS.....	114
	ANEXO 1.....	118

1 INTRODUÇÃO

Os revestimentos metálicos são utilizados para os mais variados propósitos, como proteger o substrato contra a corrosão, recuperar peças que sofreram desgaste e melhorar as propriedades físicas e mecânicas do substrato. (PANOSIAN, 2001).

A aplicação dos revestimentos metálicos pode ocorrer por meio de diferentes processos, cuja escolha dependerá de diversos fatores como: natureza do metal de deposição, formato e dimensão da peça a ser revestida, compatibilidade entre o substrato e o revestimento, características exigidas pelo processo de deposição, agressividade do meio ao qual a peça estará exposta, esforços que a peça estará sujeita, local de aplicação e, tão importante quanto, fatores econômicos (KENNY, 1993; MENEZES, 2007).

A produção de revestimentos por aspersão térmica têm crescido consideravelmente nos últimos anos, graças à oferta de novos processos e produtos e à possibilidade de seu uso nos mais diversos setores tecnológicos. As companhias de petróleo têm demonstrado interesse em proteger estruturas metálicas expostas a meios corrosivos, marinhos e ácidos por meio de revestimentos metálicos aplicados por aspersão térmica (MENEZES, 2007)

Um grande número de trabalhos e informações sobre as técnicas de aspersão térmica tem sido produzido nos últimos anos. Entretanto, poucos estudos foram dedicados a preparação da superfície do substrato assim como, a influência da rugosidade do substrato na aderência e morfologia de revestimentos.

A preparação da superfície do substrato para a aplicação de revestimentos por aspersão térmica é uma etapa fundamental do processo, onde se é necessário atingir níveis ideais de limpeza e rugosidade. A limpeza da peça tem o objetivo de retirar contaminantes que possam prejudicar a adesão do revestimento ou revestimentos já deteriorados, sendo que esta deve ser feita com técnicas, procedimentos e materiais apropriados (LIMA, 2001; PUKASIEWICZ, 2008).

Além da limpeza, a superfície deve apresentar uma rugosidade apropriada para que ocorra a aderência desejada (LIMA; TREVISAN, 2007). A aderência é dependente da quantidade de pontos de ancoramento e a área interfacial específica, logo, tem-se como rugosidade adequada, àquela que permita o aumento do ancoramento e da área de contato entre o substrato e o revestimento. O jateamento abrasivo é o principal método empregado na preparação da superfície de revestimento

(LIMA; TREVISAN, 2007). De uma forma geral, o aumento da rugosidade permite um melhor ancoramento mecânico das partículas aspergidas promovendo uma melhor aderência da camada depositada. Porém, alguns parâmetros de jateamento podem gerar distorções ou mudanças dimensionais (SUCHARSKI, 2012).

Objetiva-se nesse trabalho estudar a influência dos perfis de rugosidade, obtidas por diferentes processos de jateamento, sobre substratos de aço ao carbono com diferentes durezas, na aderência e morfologia de revestimento de alumínio, depositados por aspersão térmica a arco elétrico.

2 JUSTIFICATIVAS

A aspersão térmica é uma técnica de aplicação de revestimentos que permite utilizar materiais com propriedades específicas para resistir a determinado dano, com o mínimo de prejuízo ao componente revestido. Sendo assim, esse é um processo que se mostra vantajoso e de grande interesse científico.

O propósito deste estudo está fundamentado na importância de se conhecer e ter o controle das características necessárias de rugosidade para que o revestimento tenha resultados de aderência e morfologia satisfatórios. A formação desta rugosidade é obtida por abrasão por meio de diferentes processos de jateamento que estudará nesse trabalho. Para a validação da capacidade de promover a adesão de revestimento aplicado por aspersão térmica, utilizará revestimento de alumínio depositado pelo processo arco elétrico.

3 HIPÓTESES

São levantadas algumas hipóteses que permitem sustentar os objetivos e as justificativas deste trabalho:

- diferentes materiais de substrato apresentam diferentes valores de rugosidade e nível de incrustação de partículas abrasivas (em área) com os mesmos parâmetros de jateamento abrasivo;
- os revestimentos de alumínio depositados por aspersão térmica a arco elétrico apresentam valores de aderência diferentes de acordo com uma faixa de rugosidade e nível de incrustação de partículas abrasivas (em área).

4 OBJETIVOS

Estudar a influência dos perfis de rugosidade, obtido por diferentes processos de jateamento, sobre substratos de aço carbono com diferentes durezas, na aderência e na morfologia do revestimento de alumínio, depositado por aspersão térmica a arco elétrico.

4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Será estudado alguns pontos específicos para atingir o objetivo deste trabalho, sendo eles:

- avaliar a rugosidade obtida sobre diferentes materiais de substratos por meio de diferentes processos de jateamento abrasivo;
- estudar a influência do material do substrato na aderência em função das diferenças de rugosidade obtidas por diferentes processos de jateamento;
- quantificar o nível de partículas abrasivas incrustadas de acordo com o material do substrato após processo de preparação de superfície por jateamento;
- estudar a influência da incrustação de partículas no resultado da aderência do revestimento em diferentes materiais de substrato;
- caracterizar a morfologia das partículas do revestimento em função das diferentes rugosidades e nível de incrustações de partículas abrasivas;
- identificar a influência da morfologia das partículas de revestimento na aderência, em função das diferentes rugosidades e nível de incrustações de partículas abrasivas.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção apresentará uma revisão de literatura sobre o processo de aspersão térmica com ênfase para a deposição por arco elétrico (ASP), o sistema de jateamento e os equipamentos utilizados, a preparação da superfície e os parâmetros de rugosidade, bem como a avaliação dos revestimentos através do ensaio de aderência.

5.1 ASPERSÃO TÉRMICA

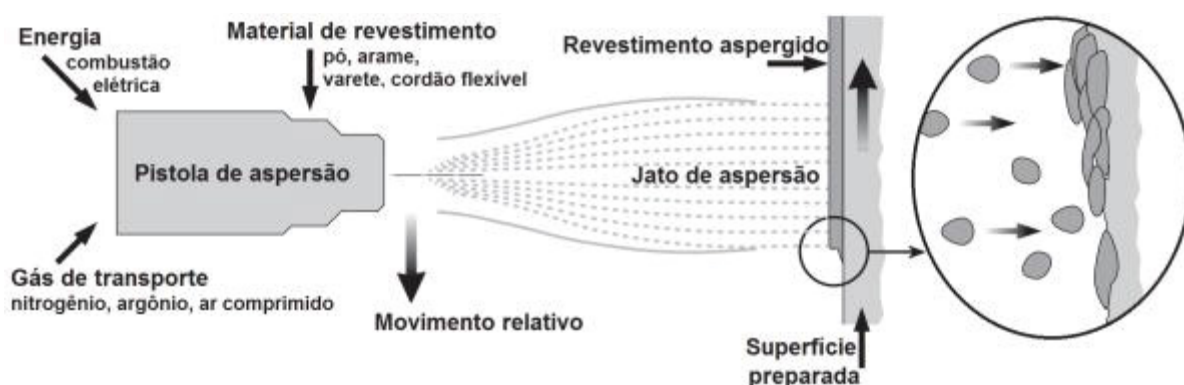
O processo de aspersão térmica é formado por um grupo de técnicas que permitem depositar revestimentos na forma de camadas de materiais metálicos, não metálicos ou misturas deles, sobre uma superfície previamente preparada, definida como substrato, com a intenção de alterar suas características superficiais (ASM, 2004; AWS, 1985). A aplicação de revestimentos protetores por aspersão térmica tem como objetivo diminuir as taxas de desgaste e aumentar a resistência à corrosão dos materiais, peças e componentes estruturais. Também é utilizada em peças que requerem isolamento térmico, isolamento elétrico e compatibilidade biológica (MENEZES, 2003)

Para uma definição geral dos processos de aspersão térmica tem-se que, o material de revestimento, que pode estar inicialmente na forma de pós, arames ou vareta, é alimentado a uma pistola de aspersão que possui uma fonte de calor, cuja origem pode ser plasma, chama por combustão de gases, gases quentes e arco elétrico (SUCHARSKI, 2012).

Fontes de calor fornecem a energia térmica para que o material a ser depositado atinja o estado fundido ou de alta plasticidade/molhabilidade. Nos processos de aspersão o material na forma de pó ou arame na passagem no bico da pistola a elevada temperatura é conduzido ou transportado por meio gasoso, fornecendo ao material elevada energia cinética. Neste momento as partículas absorvem energia térmica e cinética. A energia contida nas partículas ainda pode ser aumentada pela energia liberada da reação de combustão, principalmente quando a combustão ocorre em espaço confinado, assim como também pode aumentar ainda mais segundo o modelo interno do transporte do material aquecido e gás de transporte e de combustão, tais como tipo Venturi e/ou câmara convergente divergente, ou ambos (SUCHARSKI, 2012).

Além disso, os gases do plasma ou da combustão, o ar comprimido ou o gás inerte, devido às altas temperaturas atingidas, se expandem (segundo o modelo de bocal da pistola), acelerando ainda mais as partículas do material fundido e/ou semifundido contra a superfície do substrato. Ao se chocarem contra a superfície, as partículas se deformam e aderem-se ao material base, assim como sobre as partículas já existentes, originando-se assim uma camada de estrutura tipicamente lamelar. Essas camadas são constituídas de pequenas partículas deformadas, contendo inclusões de óxidos, vazios e porosidade (SULZER, 2012; PUKASIEWICZ, 2008; TAKIMI, 2004; DAVIS, 1992). A FIGURA 1 mostra o diagrama esquemático da aspersão térmica e o revestimento transferido e depositado.

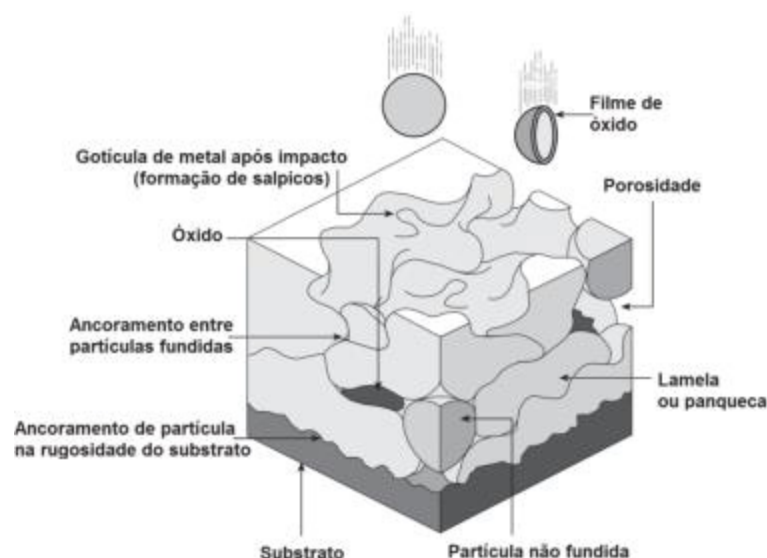
FIGURA 1 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO POR ASPERSÃO TÉRMICA.



FONTE: Sucharski (2012).

A FIGURA 2 ilustra esquematicamente as principais características do revestimento obtido por aspersão térmica.

FIGURA 2 - ESQUEMA DE FORMAÇÃO DE UM REVESTIMENTO POR ASPERSÃO TÉRMICA.



FONTE: Adaptado de Oerlikon (2016).

Entre as vantagens da aspersão térmica está a diversidade de materiais para ser depositados, tais como: a maioria dos metais e suas ligas, óxidos, materiais cerâmicos, cermets, carbonatos, boretos e hidretos (ASM, 1994). Por outro lado, os processos apresentam uma dificuldade de deposição de revestimentos em geometrias complexas, pois a superfície a ser revestida deve ser completamente visível pela tocha ou pistola de aspersão (ALMEIDA, 2005).

Tem-se que as características microestruturais dos revestimentos e, como consequência, as propriedades apresentadas, são diretamente influenciadas pela limpeza da superfície (Sa3 - norma SIS 05 59 00 1988), rugosidade e aquecimento do substrato (pré e/ou pós-aquecimento), mas também pelas magnitudes das energias térmica e cinética transferidas às partículas durante a aspersão. Estas, por sua vez, dependem diretamente do tipo de processo e dos parâmetros selecionados (LIMA; TREVISAN, 2007). Ou seja, a variação energia da chama ou do arco, a velocidade imposta às partículas, a taxa de deposição e as condições da preparação do substrato oferecem diferentes graus de desempenho por alterar as características do revestimento obtido (SUCHARSKI, 2012).

Para identificar cada processo de aspersão térmica, utiliza-se de siglas em inglês. Desta forma, segue a TABELA 1 com os nomes dos principais processos de aspersão térmica e as respectivas siglas.

TABELA 1 - PROCESSOS DE ASPERSÃO TÉRMICA, SUAS SIGLAS E NOMES.

FONTE DE AQUECIMENTO	SIGLA	NOME EM INGLÊS	NOME USUAL EM PORTUGUÊS
ENERGIA ELÉTRICA	ASP	<i>ARC SPRAY PROCESS</i>	ARCO ELÉTRICO
	APS	<i>AIR PLASMA SPRAYING</i>	PLASMA POR ARCO NÃO TRANSFERIDO
	PTA	<i>PLASMA TRANSFERED ARC</i>	PLASMA POR ARCO TRANSFERIDO
COMBUSTÃO	FS	<i>FLAME SPRAY</i>	CHAMA (-PÓ, -ARAME)
	HVOF	<i>HIGH VELOCITY OXY-FUEL</i>	CHAMA DE ALTA VELOCIDADE OU ULTRASSÔNICO
	HVCW	<i>HIGH VELOCITY COMBUSTION WIRE</i>	CHAMA DE ALTA VELOCIDADE COM ARAME
	D-GUNTM OU DS	<i>DETONATION THERMAL SPRAYING PROCESS</i>	DETONAÇÃO
	CS	<i>COLD SPRAY OU COLD-GAS SPRAYING METHOD</i>	GÁS FRIO

FONTE: Adaptado de Sucharski (2012).

Na TABELA 2 são apresentadas algumas das condições de operação para os processos de aspersão térmica relatados anteriormente.

TABELA 2 - VALORES REPRESENTATIVOS DE CONDIÇÕES OPERACIONAIS DISPONIBILIZADAS PELOS PRINCIPAIS PROCESSOS DE ASPERSÃO TÉRMICA.

PROCESSO	TEMPERATURA APROXIMADA CHAMA OU ARCO (°C)	VELOCIDADE DAS PARTÍCULAS (M/S)	TAXA DE DEPOSIÇÃO (KG/H)
FS-PÓ	≤3160	≤50	1-6
FS-ARAME	≤3160	≤200	6-12
ASP	~4000	~150	8-20
HVOF	≤2900	≤650	2-18
HVCW	≤2900	≤300	2-8
PS	≤16000	≤450	4-8
D-GUNTM	>10000	~600	3-6
CS	≤600	550-1000	4-8

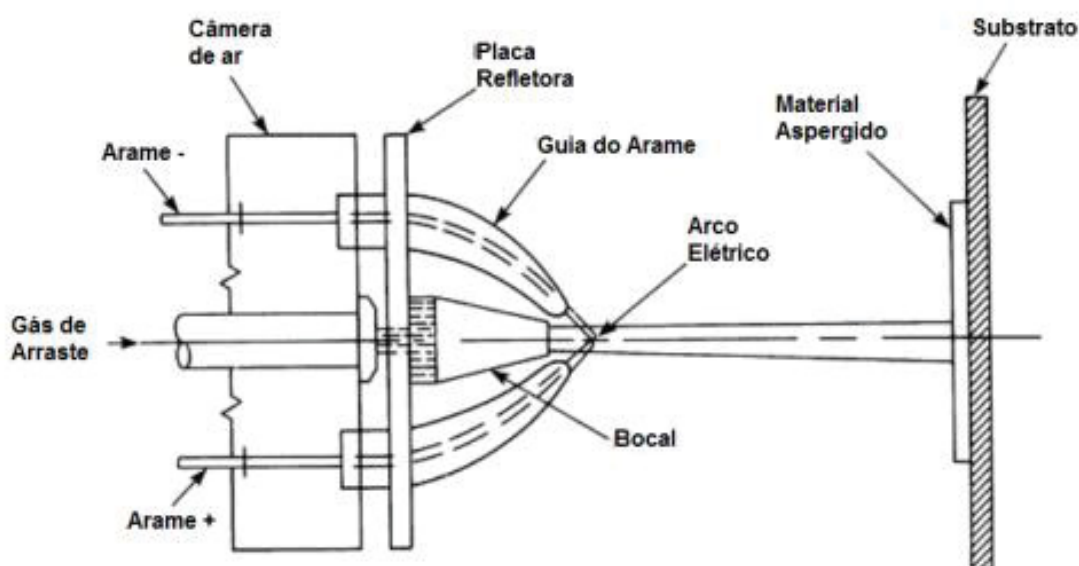
FONTE: Adaptado de Schiefler Filho (2004).

5.1.1 Aspersão Térmica por Arco Elétrico

O processo de aspersão por arco elétrico usa metal de adição em forma de arame (maciço ou tubular). Este processo de aspersão térmica difere dos outros pois não há uma fonte de calor externa tal como chama ou plasma (ASM, 2004).

No processo de aspersão térmica ASP, dois arames são alimentados continuamente na pistola, que aproximados por um alimentador geram um diferencial de tensão para produzir a fusão do material a ser depositado por um jato de ar comprimido ou gases (CRAWMER, 2004). A FIGURA 3 mostra o que ocorre na pistola do processo de deposição ASP.

FIGURA 3 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DA PISTOLA PARA ASP.



FONTE: Adaptado de ASM (1994).

O processo de aspersão térmica por arco elétrico destaca-se em relação aos outros processos por apresentar maior taxa de deposição; ser de fácil operação, manual ou mesmo automatizada; baixo custo para fabricação dos arames consumíveis e níveis de aderência melhores que no processo FS (WANG *et al.*, 1999). No processo ASP, o calor transferido para o substrato é menor, em virtude do calor do arco elétrico ser direcionado preferencialmente para o metal consumível e não para o substrato, como nos processos FS, HVOF e APS (CRAWMER, 2004).

No processo ASP, o tamanho das partículas diminui com a redução da corrente, aumento da pressão do ar ou redução do diâmetro dos arames. Variações das características de deposição podem ocorrer por motivos aleatórios (correntes de ar, umidade relativa do ar, entre outros), e influenciam severamente na projeção das gotículas. Salienta-se que essa variação de tamanho de gotículas é de grande importância para a morfologia final do revestimento aspergido (CRAWMER, 2004).

O processo ASP apresenta limitações inerentes ao princípio de funcionamento, como a necessidade de que o material de deposição seja condutor elétrico, excluindo completamente a aspersão de não metálicos, a não ser que sejam aplicados arames tubulares preenchidos com o material não metálico. Mas, nesse caso, o revestimento apresentará em sua composição final os elementos de liga do metal de confecção da fita ou tubo, pois esse é parte da liga aspergida (VÁZ, 2013).

5.2 PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE

A preparação da superfície do substrato para aplicação de revestimentos por aspersão térmica é uma etapa fundamental do processo, onde se é necessário atingir níveis ideais de limpeza e rugosidade. A limpeza da peça tem o objetivo de retirar contaminantes que possam prejudicar a adesão do revestimento ou revestimentos já deteriorados, portanto a limpeza deve ser feita com técnicas, procedimentos e materiais apropriados (LIMA, 2001; PUKASIEWICZ, 2008). Em alguns momentos é necessário utilização de solventes à base de hidrocarbonetos, cloretos e álcoois, entre outros, mas sempre se devem observar riscos à saúde e a compatibilidade entre o solvente e o substrato. A utilização de vapor d'água sob pressão pode ser eficiente em muitos casos. O uso de ultrassom também favorece a limpeza (LIMA, 2001).

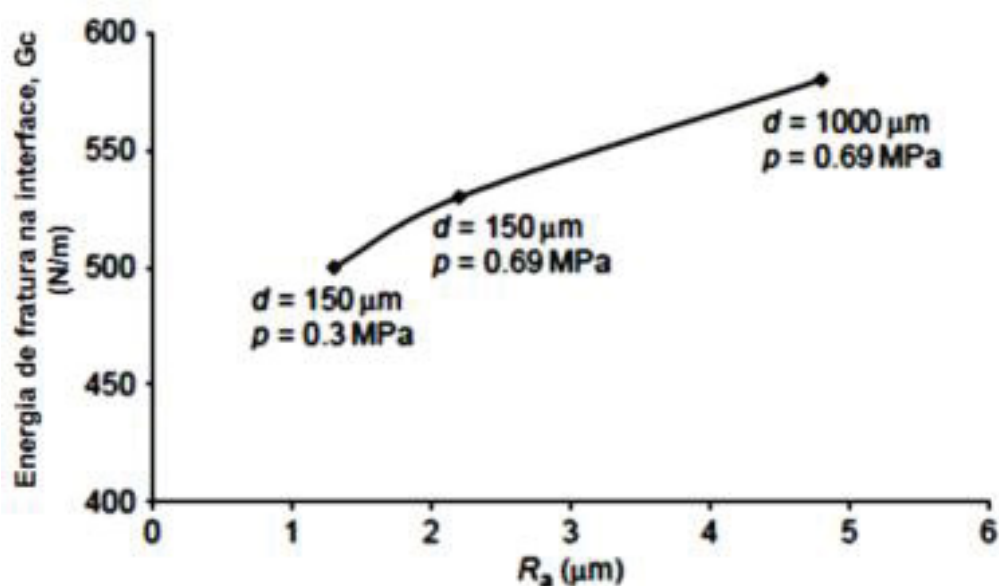
Além da limpeza, a superfície deve apresentar uma rugosidade apropriada para que ocorra a aderência desejada (LIMA; TREVISAN, 2007). A aderência é dependente da quantidade de pontos de ancoramento e a área interfacial específica, logo, tem-se como rugosidade adequada, àquela que permita o aumento do ancoramento e da área de contato entre substratos e revestimento. O jateamento abrasivo é o principal método empregado na preparação da superfície de revestimento (LIMA; TREVISAN, 2007). A superfície resultante depende de alguns fatores, entre eles:

- dependentes da partícula: tamanho, composição, dureza, forma das partículas abrasivas;
- relacionadas ao processo: ângulo de aplicação, velocidade e tempo do jato abrasivo; distância do bocal ao substrato; a abertura do bocal e a capacidade do equipamento.

O tipo de abrasivo influencia diretamente no acabamento superficial, na velocidade do jateamento (já que partículas de maior tamanho tornam a operação mais lenta), no estado de tensões deixada no substrato e na aderência do revestimento (variar abrasivo altera a energia de base de ancoramento) (MENEZES, 2007).

De uma forma geral, o aumento da rugosidade permite um melhor ancoramento mecânico das partículas aspergidas promovendo uma melhor aderência da camada depositada. A FIGURA 4 evidencia isto, mostrando os resultados de aderência para deposições de uma liga do tipo NiCrAlY sobre substrato de SAE 1010 com diferentes níveis de rugosidade, onde para o maior valor da rugosidade (R_a) tem-se a maior energia para a fratura.

FIGURA 4 – CURVA DE ADESÃO DE REVESTIMENTO DE NICRALY AO AÇO SAE 1010 EM FUNÇÃO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL.



FONTE: Pawlowski (2007).

No entanto, é visto que parâmetros inadequados de jateamento podem criar distorções ou mudanças dimensionais, o que é geralmente indesejado e podem reduzir valores de aderência, mesmo para valores altos de rugosidade (SUCHARSKI, 2012).

As crescentes exigências de controle de qualidade, levaram ao desenvolvimento de normas internacionais que permitem especificações precisas do que se chamam “Graus de Limpeza” de superfícies de aço. Uma das mais relevantes é a norma sueca SIS-05 59 00 1988 que estabelece padrões fotográficos dos Graus de Oxidação (intemperismo) a que está submetida a peça e dos “Graus de Limpeza” que podem ser obtidos com operações manuais, mecânicas e com jato abrasivo. A necessidade de especificar o grau de limpeza é importante para estabelecer as condições mínimas aceitáveis para a perfeita ancoragem do revestimento a ser aplicado, exigindo que a superfície seja completamente limpa, sem a menor contaminação por carepas ou óxidos, apresentando a característica cor cinza claro sem manchas, o que exigiria maiores tempos operacionais, muitas vezes desnecessários (PAREDES, 2013).

A norma citada estabelece quatro padrões para estados iniciais das superfícies padronizando os graus de oxidação que elas apresentam, sendo eles:

Grau “A”: Estado da superfície do aço logo após a laminação com carepa, mas sem oxidação;

Grau “B”: Superfície já com vestígios de oxidação;

Grau “C”: Carepa se desagregando pela oxidação, mas quando ela ainda não atingiu a superfície em profundidade;

Grau “D”: A superfície já apresenta cavidades, em grande número, visíveis a olho nu.

A norma SIS-05 59 00 1988, estabelece quatro “Graus de Limpeza” para a preparação de superfícies de aço com jato abrasivo para cada padrão de estado inicial:

Grau “Sa 1”: Jateamento abrasivo ligeiro (Brush-off) – quando a superfície foi rapidamente atingida pelo jato (B Sa 1, C Sa 1 e D Sa 1);

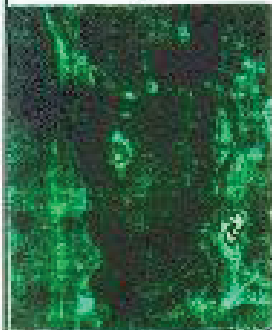
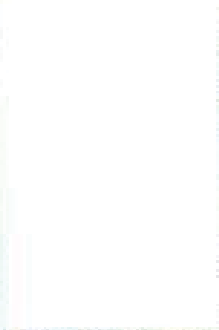











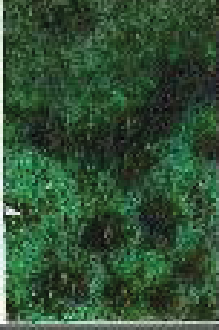


Grau “Sa 2” (Comercial): Quando o jateamento foi mais cuidadoso, removendo carepas, ferrugem e incrustações, podendo apresentar ligeiros resíduos visíveis em menos de 1/3 da superfície (B Sa 2, C Sa 2 e D Sa 2);

Grau “Sa 2 ½” (Ao metal quase branco): Quando o jato for bastante demorado removendo mais de 95% das contaminações visíveis e apresentar a cor cinza claro (A Sa 2 ½, B Sa 2 ½, C Sa 2 ½ e D Sa 2 ½);

Grau “Sa 3” (ao metal branco): Quando a superfície apresentar 100% de limpeza (A Sa 3, B Sa 3, C Sa 3 e D Sa 3).

Prevendo a inspeção da superfície através da de padrões comparáveis visualmente a norma trás imagens de graus de corrosão e limpeza conforme indicado na FIGURA 5.

FIGURA 5 - GRAUS DE CORROSÃO E LIMPEZA

Graus de Corrosão	Graus de Limpeza			
	Sa1	Sa2	Sa2 1/2	Sa3
A				
B				
C				
D				

FONTE: Norma SIS 05 59 00 (1988).

5.3 PARÂMETROS DE RUGOSIDADE

As superfícies podem ser interpretadas por parâmetros de rugosidade, tais parâmetros podem ser calculados em duas dimensões (2D) ou em três dimensões (3D). Alguns parâmetros de rugosidade são mais importantes que outros, conforme sua aplicação (TEAGUE *et al*, 1982; PANCEWICZ, MRUK, 1996; GADELMAWLA *et al*, 2002). O significado dos parâmetros de rugosidade pode ser compreendido, de acordo com o prefixo das suas siglas. O prefixo “S” vem do inglês *surface*, que significa superfície e refere aos parâmetros de rugosidade 3D, o prefixo “R”, que vem do inglês *roughness*, que significa rugosidade e denota aos parâmetros de rugosidade 2D.

Neste trabalho serão estudados os parâmetros de rugosidade média (R_a), altura máxima das irregularidades (R_y) e altura das irregularidades de 10 pontos (R_z), que fornecem uma avaliação da altura das irregularidades e são indicados para a comparação de superfícies preparadas por um mesmo processo, que neste caso é o jateamento abrasivo. Porém os mesmos nada dizem a respeito do espaçamento horizontal da rugosidade, o qual é obtido pelos valores de espaçamento médio das irregularidades (S_m). Da junção das medições verticais com horizontais tem-se a noção do perfil quanto a sua altura e repetibilidade em um comprimento de amostragem.

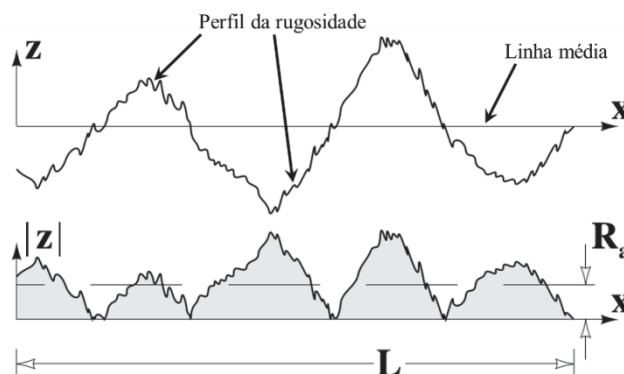
A seguir serão apresentadas particularidades de cada um desses parâmetros. Vale ressaltar, que para o entendimento dos parâmetros de rugosidade é primordial conhecer a definição de linha média visto que, esta é utilizada para os cálculos de obtenção dos demais parâmetros. A linha média, é a linha que divide o perfil de rugosidade tal que a soma das áreas acima é igual à soma das áreas abaixo, ao longo de um comprimento de medição.

5.3.1 Rugosidade Média (R_a)

É definido como a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas do perfil efetivo em relação à linha média em comprimento de amostragem. R_a é equivalente a altura de um retângulo de comprimento igual de medição (L) e de área igual a soma das áreas delimitadas pelo perfil de rugosidade e linha média (MARANHO, 1996; PAREDES, 1998). R_a também pode ser definido como desvio médio absoluto das irregularidades da rugosidade a partir de uma linha sobre um

comprimento de amostragem, conforme indicado na FIGURA 6 (GADELMAWLA et al, 2002), sendo sua expressão matemática representada pela EQUAÇÃO 1 dada na sequência.

FIGURA 6 - REPRESENTAÇÃO DA RUGOSIDADE MÉDIA RA.



FONTE: Adaptado de Stachowiak e Batchelor (2001).

EQUAÇÃO 1 – FÓRMULA UTILIZADA PARA O CÁLCULO DO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE RA.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |z| dx$$

FONTE: Stachowiak e Batchelor (2001).

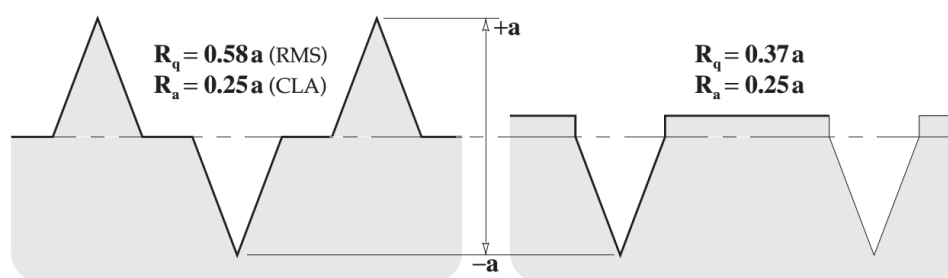
Onde:

L : comprimento da amostragem (m);

z : altura do perfil ao longo de 'x' (m).

Sua desvantagem reside no fato de representar uma média da rugosidade, podendo seus valores ser alterados pela presença de grandes picos ou vales ou até mesmo superfícies com características totalmente diferentes (MARANHO, 1996; PAREDES, 1998; GADELMAWLA *et al*, 2002). A FIGURA 7 mostra um desenho esquemático onde pode ser observado que para dois valores diferentes de Rq (rugosidade RMS) o valor de Ra é o mesmo. Sendo assim, é aconselhável que se faça várias medições para que a análise forneça um valor o mais confiável possível.

FIGURA 7 - EFEITO DO CALCULO DA MÉDIA SOBRE O VALOR DE RA.



FONTE: Adaptado de Stachowiak e Batchelor (2001).

5.3.2 Altura Máxima das Irregularidades (R_y)

Distância entre duas linhas paralelas a linha média e que tangenciam a saliência mais pronunciada (picos) e a reentrância mais profunda (vales), medida no comprimento de amostragem. Com este parâmetro é possível determinar as condições de pre-acabamento necessárias para operações de acabamento subsequentes tais como brunimento ou tapidação, pois indica que quantidade de material pode ser removido antes que a dimensão da peça atinja um limite particular. Além disso é útil para determinar quando um processamento contínuo (jateamento abrasivo) de uma peça produz pouco ou nenhum efetivo, ou seja, qual o desgaste que a superfície da peça sofre com o uso contínuo do processo (MARANHO, 1996; PAREDES, 1998).

5.3.3 Altura das Irregularidades dos 10 pontos (R_z)

Definida como a diferença entre o valor médio das ordenadas dos cinco pontos mais salientes (picos) e o valor médio das ordenadas dos cinco pontos mais reentrantes (vales) medidos a partir de uma linha paralela a linha média, não interceptando o perfil, e no comprimento de amostragem. Pela definição deste parâmetro verifica-se que é mais sensível a picos ou vales locais do que R_a , sendo útil na comparação entre duas superfícies oriundas de um mesmo processo de preparação da superfície R_z e R_y , são muito usados nos países europeus pela facilidade de comparação dos resultados obtidos entre o equipamento óticos e mecânicos (MARANHO, 1996; PAREDES, 1998; GADELMAWLA *et al*, 2002). Sendo sua expressão matemática representada pela EQUAÇÃO 2 a seguir:

EQUAÇÃO 2 – FÓRMULA UTILIZADA PARA O CÁLCULO DO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE RZ.

$$R_z = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n p_i - \sum_{i=1}^n v_i \right)$$

FONTE: Stachowiak e Batchelor (2001).

Onde:

n : número de amostra ao longo do comprimento da amostragem;

p : picos;

v: vales

5.3.4 Espaçamento Médio da Irregularidades (Sm)

É definido pela norma como o valor médio do espaçamento das irregularidades dentro de um comprimento de amostragem, isto é a repetibilidade dos perfis de rugosidade. Este parâmetro fornece informações sobre os períodos com os quais os desvios geométricos na evolução do perfil podem aparecer. Por ser um valor médio pode estar sujeito a variações locais, mas podem ser utilizados na diferenciação de perfis com parâmetros verticais semelhantes (MARANHO, 1996; PAREDES, 1998). A expressão matemática está representada pela EQUAÇÃO 3 a seguir:

EQUAÇÃO 3 – FÓRMULA UTILIZADA PARA O CÁLCULO DO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE SM.

$$S_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n S_i$$

FONTE: Stachowiak e Batchelor (2001).

5.4 ADERÊNCIA

A resistência mecânica de um revestimento efetuado por aspersão térmica compreende a aderência entre o mesmo e o substrato, bem como a coesão entre as partículas depositadas. A aderência é um requisito essencial para o bom desempenho do revestimento, pois de nada adianta o mesmo ter uma espessura adequada e livre de poros para proteção contra corrosão e não possuir aderência suficiente.

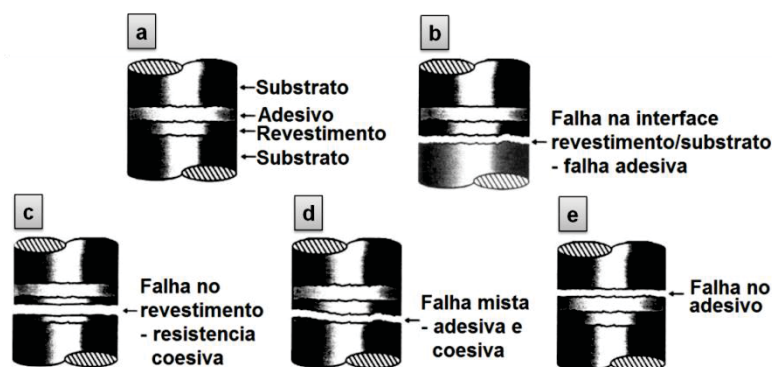
A análise da aderência do revestimento normalmente considera três mecanismos fundamentais, de acordo com a natureza das forças atuantes: mecânico, químico-metalúrgico e físico. Quando do impacto das partículas aquecidas e aceleradas contra o substrato, essas se achatam numa forma lenticular, resfriam-se rapidamente e ancoram-se mecanicamente nas irregularidades da superfície. Por outro lado, em função da natureza do material e do calor transferido pela partícula para o substrato pode ocorrer um maior ou menos grau de microsoldagem, podendo haver fusão localizada, difusão atômica com formação de soluções sólidas e inclusive compostos intermetálicos, caracterizando o que se denomina mecanismo química-metalúrgico (MARANHO, 1996).

Como os mecanismos acima pressupõem um contato íntimo entre camada e substrato é de se esperar que as superfícies a serem revestidas estejam metalicamente limpas, isto é, livres de qualquer produto estranho que dificulte os mecanismos de ligação. Para a aderência mecânica exerce também papel essencial a presença de um nível adequado de rugosidade. Por sua vez, a aderência metalúrgica é bastante dependente tanto do processo de aspersão, que determina a temperatura, energia cinética e grau de oxidação das partículas, como da natureza do material aspergido, se metálico ou cerâmico. Em alguns materiais metálicos, em partículas naqueles denominados autoligantes é forte a aderência metalúrgica, tanto é que os mesmos são empregados como camada intermediária para aumentar a aderência global do revestimento (MARANHO, 1996).

Uma das técnicas de avaliação quantitativa para revestimentos aspergidos termicamente é a análise da aderência dos revestimentos, ensaio este que obedece a norma ASTM C633, esta descreve um método de ensaio destrutivo para revestimentos de aspersão térmica, onde um corpo de prova revestido é colado a outro (contra-prova) de mesma dimensão, não revestido, e puxado com auxílio de uma máquina tração. A avaliação é feita a partir da tensão necessária para o rompimento das amostras coladas e do local onde ocorre a separação das mesmas.

A FIGURA 8 apresenta esquematicamente as formas de falha que podem ocorrer no ensaio de aderência.

FIGURA 8 - MODOS DE FALHA DO REVESTIMENTO NO ENSAIO DE ADERÊNCIA

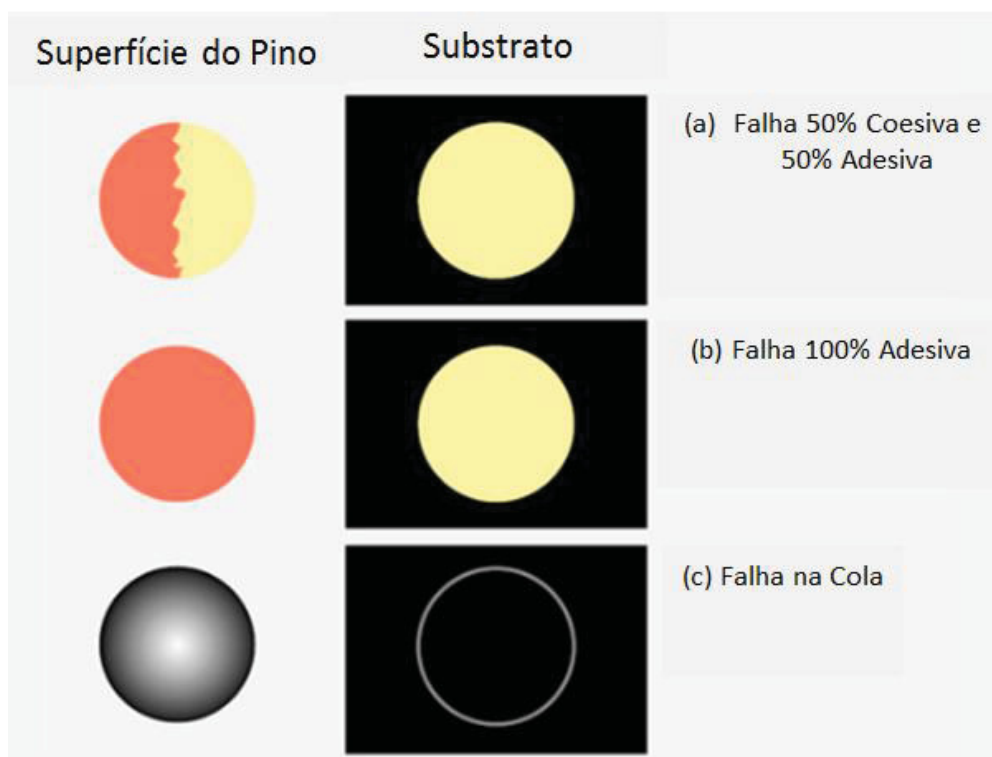


FONTE: Petrobras N2568 (2011).

O corpo de prova antes do ensaio apresenta a montagem da FIGURA 8 (a); a análise do local do rompimento permite definir o tipo de falha, que pode ser: adesiva quando a ruptura do corpo ocorre na interface revestimento/substrato (FIGURA 8 (b)); coesiva que ocorre entre as lamelas (camadas) do próprio revestimento (FIGURA 8 (c)); mista que ocorre uma mistura da falha adesiva e coesiva (FIGURA 8 (d)); falha no adesivo seria na interface com o corpo de prova sem revestimento, indicando que a adesão e coesão ficaram acima do limite do adesivo (FIGURA 8 (e)) (SUCHARSKI, 2012).

Outra técnica de avaliação da aderência é o ensaio que obedece a norma ASTM D4541, esta descreve um método de ensaio destrutivo para revestimentos de aspersão térmica, onde um pino (*dolly*) é colado a uma superfície revestida, e puxado com auxílio de equipamento portátil de tração. A avaliação é feita da mesma maneira que a norma ASTM C633 conforme modo esquemático de avaliação da falha indicado na FIGURA 9.

FIGURA 9 - MODO ESQUEMÁTICO DE AVALIAÇÃO DA FALHA.



FONTE: Adaptado de Elcometer (2016).

5.5 DOBRAMENTO

O teste de dobramento a 180° cujo diâmetro do mandril é baseado na espessura do revestimento. É um ensaio qualitativo que avalia a ductilidade e resistência a tração (que impactam as propriedades de adesividade e coesividade) do revestimento. O ensaio de dobramento avalia de forma macro a preparação da superfície, o ajuste do equipamento de aspersão, o ajuste dos parâmetros de aplicação e o próprio procedimento de aplicação.

A face oposta a revestida deve estar em contato com o mandril. O corpo-de-prova deve ser dobrado até atingir 180°. Após o ensaio o revestimento do corpo-de-prova não pode ter indícios de trincamento grosseiro ou deslocamento do revestimento, conforme indicado na FIGURA 10.

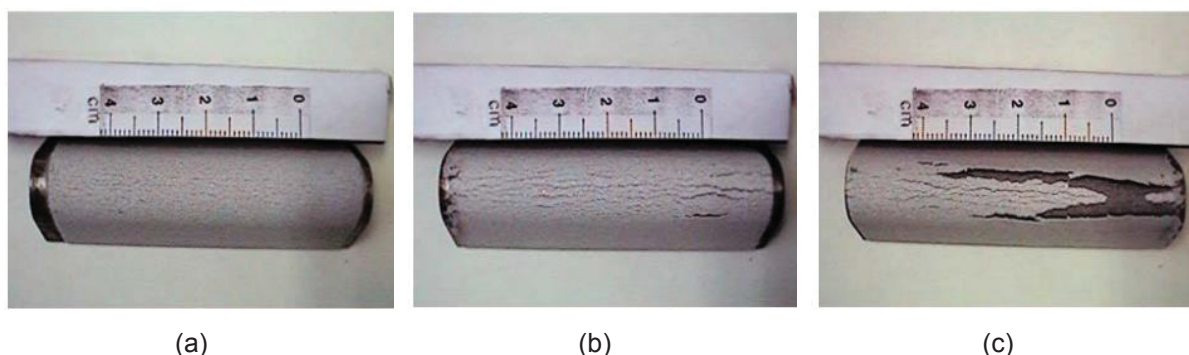
De forma geral, a camada é considerada reprovada quando pode se remover a camada pela incisão de uma lâmina junto às trincas existentes após o ensaio. Na TABELA 3 estão os critérios de avaliação requeridos para as camadas.

TABELA 3 - CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO DO ENSAIO DE DOBRAMENTO PARA APROVAÇÃO DO REVESTIMENTO.

Condição	Aparência da superfície
Ideal	Sem micro trincas ou trincas superficiais
Marginal	Contém micro trincas, sem deslocamento do revestimento
Rejeitada	Contém trincas e fendas com deslocamento do revestimento

FONTE: Petrobras N2568 (2011).

FIGURA 10 - PADRÕES PARA AVALIAÇÃO DAS TRINCAS E DESCONTINUIDADES EM CORPOS DE PROVA REVESTIDOS E ENSAIADOS POR DOBRAMENTO. CONDIÇÃO (A) IDEAL, (B) MARGINAL E (C) REJEITADA.



FONTE: Adaptado de Petrobras N2568 (2011).

5.6 EQUIPAMENTOS PARA JATEAMENTO

5.6.1 Sponge-Jet

Sponge-Jet é um equipamento para limpeza e preparação de superfícies, através de jateamento à seco, utilizando esponjas de poliuretano incorporadas com abrasivos, recicláveis, aplicadas por ar comprimido. A tecnologia da Sponge-Jet suprime as emissões fugitivas e ricochetes que podem causar interrupções onerosas e condições perigosas no local de trabalho. A FIGURA 11 mostra um equipamento Sponge-Jet, modelo Rasp Xtreme.

FIGURA 11 - EQUIPAMENTO SPONGE-JET, MODELO RASPXTREME.



FONTE: SPONGE-JET, INC. (2007).

Ao comparar os abrasivos convencionais (aqueles utilizados em gabinetes de jateamento, por exemplo) e os abrasivos Sponge-Jet (chamados de Sponge Media), o jateamento com os abrasivos Sponge Media geram 99,9% menos pó. Tais abrasivos são feitos de material poliuretano esponjoso, poroso e resistente, o qual controla ou suprime a poeira (Sponge-Jet, Inc., 2008). São classificados em cinco grandes grupos, sendo eles:

Sponge Media White: Proporciona uma solução para substratos sensíveis, com perfilagem mínima ou inexistente. Serve para uma ampla gama de aplicações industriais e de restauração histórica.

Sponge Media Green: Para remoção de graxa e óleo dos substratos duros e de máquinas pesadas, sem prejudicar as mangueiras e os acessórios. Também eliminam restos de fumaça e fuligem da maioria das superfícies industriais, especialmente aquelas de concreto e aço.

Sponge Media Blue: Utiliza a pura potência de limpeza da esponja, sem abrasão adicional, para remover fuligem, danos causados pela fumaça ou outros resíduos leves de substratos extremamente sensíveis, sem tolerância à água.

Sponge Media Red: Usada em aço altamente enferrujado ou para remover revestimentos espessos ou frágeis, onde a remoção por impacto se faz necessária.

Sponge Media Silver: Combina um dos abrasivos mais versáteis e eficientes, o óxido de alumínio, com a durabilidade e capacidade de reutilização da Sponge Media, numa faixa de tamanhos de grãos capaz de abranger praticamente qualquer tipo de aplicação.

Nestes cinco grandes grupos ainda existem uma gama de tipos de abrasivos, conforme indicado na TABELA 4.

TABELA 4 - TIPOS DE ABRASIVOS UTILIZADOS NO EQUIPAMENTO SPONGE-JET.

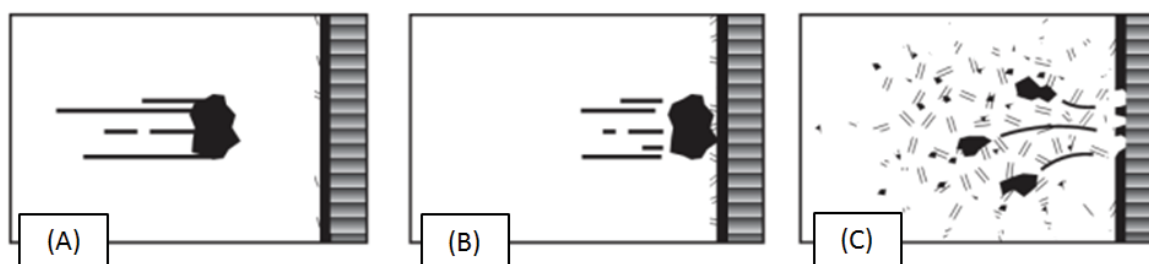
GRUPO	TIPO	AGENTE DE LIMPEZA
WHITE	SPONGE MEDIA SPOCC WHITE	Precipitado esférico de carbonato de cálcio
	SPONGE MEDIA WHITE PLÁSTICA	PLÁSTICO DE URÉIA TIPO II, MALHA 30/40
	SPONGE MEDIA WHITE COM FILETE DE VIDRO	FILETE DE VIDRO, MALHA 60/8
	SPONGE MEDIA DE MELAMINA WHITE	MELAMINA TIPO II, MALHA 40/60
GREEN	SPONGE MEDIA GREEN	MUITO SUAVE
BLUE	SPONGE MEDIA BLUE	NENHUM
SILVER	SPONGE MEDIA SILVER 16	GRÃOS DE ÓXIDO DE ALUMÍNIO #16
	SPONGE MEDIA SILVER 30	GRÃOS DE ÓXIDO DE ALUMÍNIO #30
	SPONGE MEDIA SILVER 30DGB	GRÃOS DE ÓXIDO DE ALUMÍNIO #30
	SPONGE MEDIA SILVER 80	GRÃOS DE ÓXIDO DE ALUMÍNIO #80
	SPONGE MEDIA SILVER 120	GRÃOS DE ÓXIDO DE ALUMÍNIO #120
	SPONGE MEDIA SILVER 120	GRÃOS DE ÓXIDO DE ALUMÍNIO #220
	SPONGE MEDIA SILVER 120	GRÃOS DE ÓXIDO DE ALUMÍNIO #320
	SPONGE MEDIA SILVER 320DGB	GRÃOS DE ÓXIDO DE ALUMÍNIO #320
	SPONGE MEDIA SILVER 500	GRÃOS DE ÓXIDO DE ALUMÍNIO #500

FONTE: Sponge-Jet, Inc, (2008).

A FIGURA 12 mostra esquematicamente as características do abrasivo convencional quando em movimento e em contato com a superfície a ser jateada. A partícula preta indica o abrasivo, a superfície cinza o substrato e a superfície preta os óxidos superficiais.

No jateamento convencional os abrasivos (produzidos com somente um componente) são propulsionados para a superfície mediante um sistema pneumático (FIGURA 12 – a). Com o impacto, os abrasivos convencionais absorvem a colisão de alta velocidade fraturando e ricocheteando no ar, transferem calor para o substrato e removem o sistema de revestimento completo (FIGURA 12 – b). Os abrasivos convencionais liberam todos os abrasivos fraturados, os contaminantes e as camadas de revestimento como poeira no ar (FIGURA 12 – c) (Sponge-Jet, Inc., 2007).

FIGURA 12 - ESQUEMA DAS CARACTERÍSTICAS DO ABRASIVO CONVENCIONAL PARA JATEAMENTO. (A) PARTÍCULA ABRASIVA EM MOVIMENTO E SUBSTRATO COM CAMADA DE ÓXIDO, (B) CONTATO DO ABRASIVO COM A SUPERFÍCIE A SER JATEADA E (C) FRAGMENTOS DA PARTÍCULA ABRASIVA, CAMADA DE ÓXIDO PARCIALMENTE REMOVIDA.



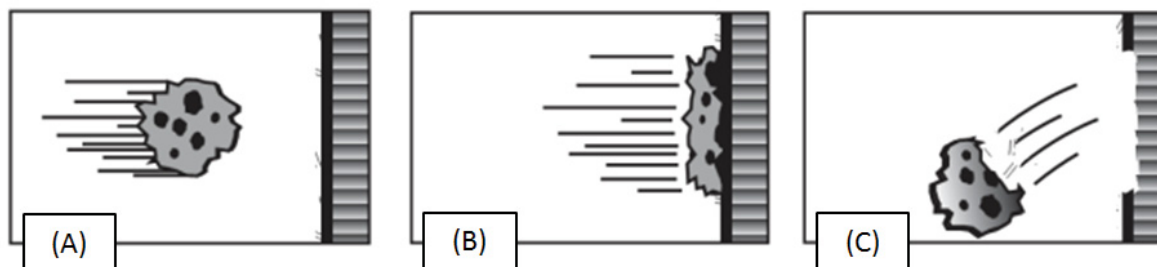
FONTE: ADAPTADO DE SPONGE-JET, INC. (2007).

A FIGURA 13 mostra esquematicamente as características do abrasivo sponge quando em movimento e em contato com a superfície a ser jateada. A partícula cinza com pontos pretos indica a esponja impregnada com abrasivo, a superfície cinza o substrato e a superfície preta os óxidos superficiais.

Os abrasivos Sponge-Jet (produzidos com dois componentes), são propulsionados para a superfície mediante um sistema pneumático (FIGURA 13 – a). Com o impacto, absorvem a energia da colisão, achatam e suprimem a liberação de contaminantes soltos da superfície, expõem seus abrasivos com pouca fratura abrasiva e removem contaminantes, removem seletiva ou completamente o sistema

de revestimento e perfilam o substrato (FIGURA 13– B). Os abrasivos Sponge-Jet capturam a maior parte do que normalmente se tornaria poeira no ar (FIGURA 13– C).

FIGURA 13 - ESQUEMA DAS CARACTERÍSTICAS DO ABRASIVO SPONGE-JET PARA JATEAMENTO. (A) ESPONJA COM ABRASIVO IMPREGNADO EM MOVIMENTO E SUBSTRATO COM CAMADA DE ÓXIDO, (B) CONTATO COM DA ESPONJA COM A SUPERFÍCIE A SER JATEADA E (C) ESPONJA E CAMADA DE ÓXIDO PARCILAMENTE REMOVIDA.



FONTE: ADAPTADO DE SPONGE-JET, INC. (2007).

As partículas de Sponge-Jet achatam-se ao colidir com a superfície e, em seguida, expõem os abrasivos no ponto em que cortam o revestimento e o substrato, abrindo um perfil de 0 até mais de 100 microns. Ao chocar-se com a superfície a esponja de poliuretano poroso cria vácuo, coletando o pó da pintura, fuligem, corrosão ou outros contaminantes. Este processo é conhecido como microretenção (Sponge-Jet, Inc., 2007).

5.6.2 Pinovo.

O sistema de jateamento Pinovo é um sistema pneumático de circuito totalmente fechado com unidade de reciclagem de abrasivo, conforme mostra a FIGURA 14. O processo para jateamento de superfície utilizada pelo equipamento Pinovo é semelhante ao processo convencional, porém, possui baixo nível de ruído e poeira, fazendo com que outras atividades possam ser realizadas concomitantemente.

FIGURA 14 - EQUIPAMENTO MARCA PINOVO, MODELO PISYSTEM100.



FONTE: Pinovo (2013)

O Pinvo disponibiliza alguns adaptadores que são inseridos na extremidade onde o abrasivo entra em contato com a superfície (bico de jateamento). Esses adaptadores são destinados a diferentes geometrias da superfície a ser jateada. A TABELA 5 apresenta alguns dos adaptadores disponíveis.

TABELA 5 - ADAPTADORES PINOVO.

FERRAMENTA	DESCRIÇÃO	IMAGEM
PIPOINT™	FERRAMENTA DE TAMANHO PEQUENO PROJETADA PARA ÁREAS DE DIFÍCIL ACESSO. TEM DISPONIBILIDADE PARA VÁRIOS ADAPTADORES, COMO POR EXEMPLO, PARA BORDAS, CANTOS E TUBOS FINOS.	
PICONNECT™	FERRAMENTA DE TAMANHO MÉDIO PROJETADA PARA ÁREAS DE DIFÍCIL ACESSO. TEM DISPONIBILIDADE PARA VÁRIOS ADAPTADORES, COMO POR EXEMPLO, PARA BORDAS, CANTOS E TUBOS FINOS.	
PIWALK™	FERRAMENTA DESENHADA PARA ÁREAS MAIORES. PLANA OU COM POUCA INCLINAÇÃO.	
PICO PIPE™	FERRAMENTAS PROJETADAS PARA SUPERFÍCIES DE TUBOS PEQUENOS E MÉDIOS. DISPONÍVEL PARA DIÂMETROS DE TUBO DE ½ "A 8".	
PIHAB™	JATEAMENTO ABRASIVO ENCLAUSURADO, TRANSPARENTE E FLEXÍVEL. DE FÁCIL ADAPTAÇÃO EM TUBULAÇÕES.	
PIBLAST™	FERRAMENTA DE OPERAÇÃO REMOTA, PROJETADA PARA TUBOS RETOS. DISPONÍVEL PARA DIÂMETROS DE TUBO DE ½ "A 8".	

FONTE: Adaptado de Pinovo (2013).

O abrasivo utilizado exibe pouca geração de poeira juntamente com baixa fragilidade, podendo-se reutilizar o abrasivo até 20 vezes. Sua forma em blocos com acentuada bordas garante elevada penetração, alcançando qualidade da preparação da superfície até Sa3.

6 METODOLOGIA E MATERIAIS

O estudo foi separado em três etapas, sendo a primeira de preparação da superfície, a segunda de caracterização da superfície e a terceira de caracterização do revestimento. Sendo assim, para a preparação da superfície foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Sponge-jet;
- Pinovo.

E os seguintes substratos:

- ABNT 1020;
- ABNT 1045;
- ABNT 1045T.

Para a caracterização das superfícies foram realizadas as seguintes análises:

- Verificação da Rugosidade;
- Nível de partículas incrustadas.

E para a caracterização dos revestimentos foram realizadas as seguintes análises:

- Ensaio de dobramento;
- Medição de aderência;
- Morfologia da estrutura lamelar.

A seguir está descrito cada uma das etapas.

Me

6.1 PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE

6.1.1 Substratos

Os substratos utilizados para a realização do jateamento foram ABNT 1020, ABNT 1045 e ABNT 1045T sendo que, este último trata-se de um aço ABNT 1045 temperado. Os corpos de prova foram confeccionados com dimensões de 50x50x4 mm. Para caracterização desses materiais foi realizada medição de microdureza e verificação de microestrutura. As imagens da microestrutura foram obtidas em

microscópio ótico Olympus BX51M (FIGURA 15) e analisada em software de análise Stream Essentials.

FIGURA 15 – MICROSCÓPIO MARCA OLYMPUS, MODELO BX51M .



FONTE: Olympus (2014).

A microdureza foi realizada em equipamento Dura Scan 20 (figura 16), utilizando-se escala Vickers com aplicação de carga de 300 gf.

FIGURA 16 - MICRODURÔMETRO MARCA EMCOTEST, MODELO DURASCAN 20.



FONTE: Durascan (2009).

6.1.2 Jateamento

Foram utilizados dois equipamentos para a realização do jateamento. O equipamento Sponge-Jet, modelo RaspXtreme conforme mostra a FIGURA 11 e o equipamento Pinovo, modelo PiSysTM100 conforme indicado para FIGURA 14.

O equipamento Pinovo detêm vários dispositivos de jateamento, e para cada dispositivo existem acessórios de acordo com a superfície a ser preparada. Para superfícies planas os dispositivos disponíveis são: PiPoint, PiConnect e PiWalk. O dispositivo PiPoint é destinado para pequenas áreas com difícil acesso enquanto que o dispositivo PiWalk é destinado para grandes áreas. Sendo assim, foi selecionado o dispositivo PiConnect (Figura 17), destinado para médias áreas. Neste dispositivo foi conectado o acessório “Adapter Flat” com escova baixa para superfícies planas.

FIGURA 17 - DISPOSITIVO PICONNECT COM ACESSÓRIO ADAPTER FLAT.



FONTE: Adaptado de Pinovo (2013).

O equipamento Sponge-Jet possui somente um tipo de dispositivo para jateamento, o chamado Saber Blast Nozzle. Este dispositivo pode ser fornecido em cinco diferentes diâmetros do bocal, sendo este definido de acordo com a pressão e o volume de ar comprimido fornecido. O bocal selecionado para os testes realizados foi o de nº8 (Figura 18), com 12,5mm de diâmetro que tem requisitos de vazão e de pressão da linha de ar comprimido de acordo com os valores encontrados na TABELA 6.

FIGURA 18 - SABER BLAST NOZZLE #8.



FONTE: SPONGE-JET, INC. (2007).

TABELA 6 - REQUISITOS DE VAZÃO (M³/MIN) DE ACORDO COM A PRESSÃO FORNECIDA PARA BOCAL N°8 DO SPONGE-JET.

Diâmetro do Bocal	Item	4,1 bar	4,8 bar	5,5 bar	6,2 bar	6,9 bar	8,3 bar
N°8 12,5mm	Bocal	6,3	7,1	7,9	8,7	9,6	11,1
	Unidade	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	Reserva	1,5	1,7	1,8	2,0	2,1	2,4
	Total	9,0	9,9	10,9	11,9	12,8	14,7

FONTE: Adaptado de Sponge-jet (2005).

Para cada sistema de jateamento foram utilizados três diferentes granulometrias de abrasivos.

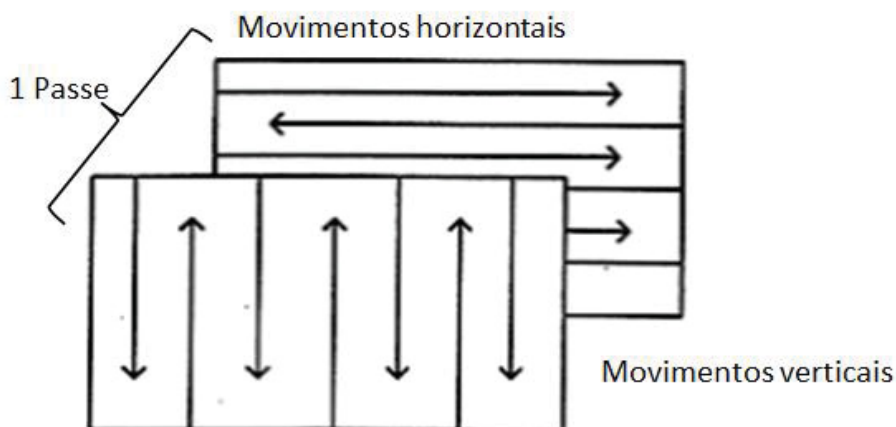
O processo para jateamento de superfície utilizada pelo equipamento Pinovo, utiliza o óxido de alumínio como abrasivo. Neste trabalho foram utilizados os óxidos de alumínio do tipo branco, branco reciclado e marrom nas granulometrias 20, 36 e 60 mesh.

O processo de jateamento de superfície utilizado pelo equipamento Sponge-Jet é denominado como um jateamento seco, utilizando esponjas de poliuretano incorporadas com abrasivos. Estes abrasivos são fornecidos somente em um tipo, óxido de alumínio cinza. Sendo assim, para este trabalho foram utilizadas as esponjas de poliuretano impregnadas com óxido de alumínio cinza nas granulometrias 16, 30 e 60 mesh.

Foram realizados dois passes para a preparação dos corpos de prova tanto com o equipamento Pinovo como para o equipamento Sponge-jet. Cada passe é

composto por movimentos horizontais e verticais de forma a preparar a superfície com um todo, como observado na FIGURA 19.

FIGURA 19 - MOVIMENTOS QUE CONSTITUEM UM PASSE DE PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE.



FONTE: Adaptado de Petrobras N2568 (2011).

6.1.3 Medição de Rugosidade

A rugosidade das superfícies jateadas foi avaliada com o uso de um rugosímetro portátil e um perfilômetro ótico 3D. O rugosímetro portátil utilizado foi o da marca Mitutoyo modelo SJ210, conforme visualizado na FIGURA 20.

FIGURA 20 - RUGOSÍMETRO PORTÁTIL MITUTOYO SJ210.



FONTE: Mitutoyo (2016).

O perfilômetro ótico 3D utilizado foi o da marca Taylor Hobson modelo CCI Lite, conforme visualizado na FIGURA 21.

FIGURA 21 - PERFILÔMETRO TAYLOR HOBSON CCI HD.



FONTE: A autora (2017).

Com o uso da perfilometria ótica assim como do rugosímetro portátil foram mensurados os diferentes valores de rugosidades que os equipamentos fornecem.

6.1.4 Nível de Partículas Abrasivas Incrustadas

O nível de partículas incrustadas foi avaliado através de imagem obtida em MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura) marca Tescan, modelo VEGA 3, com EDS (detector de energia dispersiva de raios X) marca Oxford modelo INCAX-ACT por elétrons retroespalhados, conforme mostra FIGURA 22.

FIGURA 22 - MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA MARCA TESCAN, MODELO VEJA 3.



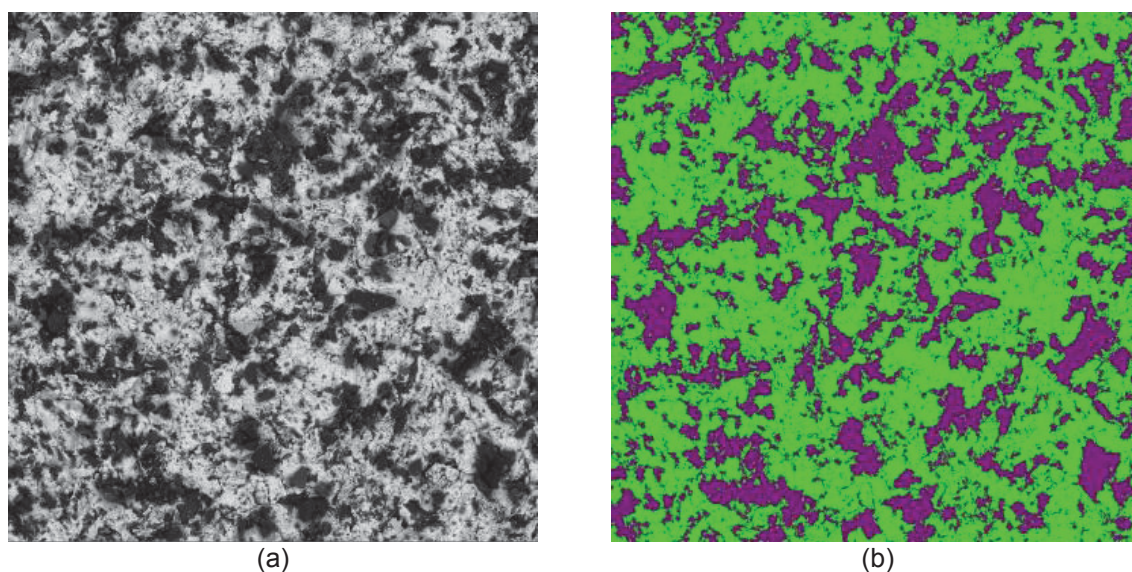
Fonte: Adaptado de Lactec (2017).

A imagem de BSE (*backscattering electrons*) é gerada pela emissão de elétrons retroespalhados e demonstra diferenças composicionais na região analisada. O volume da região ionizada depende do número atômico médio da zona de interação do material com o feixe de elétrons. As imagens BSE são representadas em tons de cinza, onde os tons claros correspondem às porções constituídas por elementos com número atômico médio relativamente maior do que aquelas com tons mais escuros (DUARTE et al., 2003). As partículas abrasivas são compostas por oxigênio e alumínio, que contém número atômico igual a 8 e 13 respectivamente. O substrato tem como o elemento principal o ferro, que contém número atômico igual a 26. Sendo assim, pela diferença significativa entre o número atômico dos elementos envolvidos, esta técnica mostra-se eficiente.

Para a análise de imagens que quantificou o percentual de partículas abrasivas e fração metálica em área utilizou-se a técnica disponível na norma ASTM E2109. Esta técnica se dá pela conversão das imagens de MEV em tons de cinza com 16 bits para 8 bits. Com a definição de cada constituinte por meio da técnica de *threshold*, caracterizado pelos limites do tom de cinza dos óxidos e fração metálica, calculou-se a fração em área de cada fase. Neste trabalho serão convertidas em duas

cores distintas: verde e roxa. A FIGURA 23 (a) exemplifica a operação de conversão de tons de cinza da superfície de uma amostra jateada e a FIGURA 23 (b) exemplifica a quantificação dos constituintes, sendo que os óxidos estão representados pela cor roxa e fase metálica pela cor verde.

FIGURA 23 - EXEMPLO DE CONVERSÃO DE TONS DE CINZA PARA CORES.
(A) IMAGEM ORIGINAL BSE E (B) APÓS QUANTIFICAÇÃO.



FONTE: A autora (2017).

A área relativa de cada cor foi então mensurada, definindo-se a fração em área de cada constituinte. Para este procedimento foi utilizado o software de análise de imagens *Stream Essentials*.

6.2 AVALIAÇÃO DO REVESTIMENTO

6.2.1 Parâmetros para Aspersão Térmica

O equipamento utilizado para a deposição do revestimento foi do tipo arco elétrico, marca Metallisation modelo S350(16) ARC140 conforme mostra a FIGURA 24. A deposição dos revestimentos foi realizada manualmente.

FIGURA 24 - ARCO ELÉTRICO MARCA METALLISATION, MODELO S350 (16).



FONTE: Metallisation (2016).

A composição química do revestimento depositado está descrita na TABELA 7 e os parâmetros de deposição na TABELA 8.

TABELA 7 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO REVESTIMENTO DEPOSITADO.

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Outros
99,0 min.	0,30	0,40	0,20	0,05	0,07	0,20

FONTE: A Autora (2017).

TABELA 8 - PARÂMETROS DE DEPOSIÇÃO DOS REVESTIMENTOS.

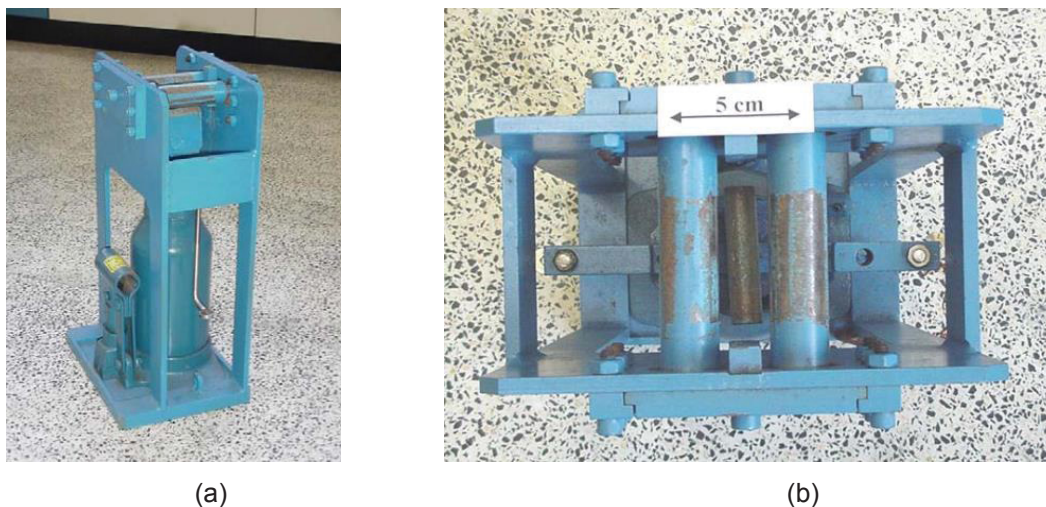
Variável	Parâmetro
Distância pistola-substrato	100mm
Pressão Ar	5,9bar
Tensão	32V
Corrente	160A

FONTE: A Autora (2017).

6.2.2 Ensaio de dobramento

O ensaio de dobramento foi ser executado via dispositivo com um mandril de diâmetro de 13 mm, conforme indicado pela Norma Petrobras N2568 (2011). A FIGURA 25 contém o equipamento utilizado para o ensaio de dobramento.

FIGURA 25 - EQUIPAMENTO PARA ENSAIO DE DOBRAMENTO (A) VISTA GERAL E (B) VISTA SUPERIOR.



FONTE: Petrobras N2568 (2011).

Para esse ensaio foram confeccionados 5 corpos de prova em aço carbono ABNT 1020 para cada experimento com as seguintes dimensões: 75 mm x 50 mm x 1,25 mm (largura x altura x espessura).

6.2.3 Ensaio de aderência

O ensaio de aderência que obedece a norma ASTM C633 foi realizado com auxílio de dispositivo de auto alinhamento em máquina universal de ensaios MTS Landmark Servohydraulic Test System com capacidade de 250kN (FIGURA 26). As condições para a realização do ensaio de tração são as seguintes: velocidade de deslocamento dos corpos entre 1 mm/min até o rompimento do revestimento, coletando-se as informações de máxima tensão resistida pelo revestimento.

FIGURA 26 - MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAIOS MTS LANDMARK SERVOHYDRAULIC TEST SYSTEM COM CAPACIDADE DE 250KN.



FONTE: A Autora (2018).

O ensaio de aderência que obedece a norma ASTM D4541 foi realizado com equipamento de aderência portátil Marca Elcometer, modelo 510 (FIGURA 27) com velocidade de alongamento igual 0,8 MPa/s com auxílio de *dolly* de 10 mm de diâmetro.

FIGURA 27 - EQUIPAMENTO PARA ENSAIO DE ADERÊNCIA PULL OFF MARCA ELCOMETER MODELO 510 50S.



FONTE: Elcometer (2016).

Para selecionar a cola adequada para os ensaios foi verificada a resistência a tração de duas colas com cura a temperatura ambiente e de alta resistência, sendo elas: Cola Epoxi LOCTITE® Hysol E-00CL e Cola Epoxi ARALDITE® Profissional Brascola. Esta última apresentou os melhores resultados, conforme indicado no Anexo 1. Desta maneira foi selecionada para a realização dos ensaios.

6.2.4 Microdureza Vickers

Para as análises de microdureza e microestrutura, foi realizada a preparação metalográfica dos substratos, começando pelo corte das amostras, seguindo por embutimento, lixamento e polimento.

Para as medidas de microdureza foi utilizada carga de 300 g, em microdurômetro EmcoTest DuraScan20 (FIGURA 16). As medidas foram realizadas ao longo da seção transversal do metal base.

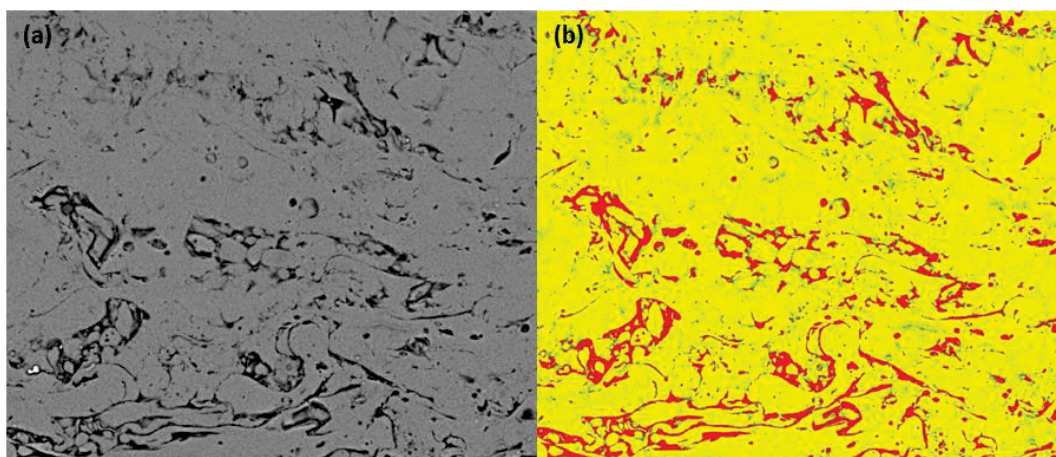
6.2.5 Morfologia da Estrutura Lamelar

A morfologia da estrutura lamelar foi avaliada por meio de imagem obtida em MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura) marca Tescan, modelo VEGA 3, com EDS (detector de energia dispersiva de raios X) marca Oxford modelo INCAX-ACT por elétrons retroespalhados, conforme mostra FIGURA 22

Para a análise de imagens que quantificou o percentual de óxidos, poros e fração metálica em área utilizou-se a técnica disponível na norma ASTM E2109. A FIGURA 28 (a) exemplifica a operação de conversão de tons de cinza seção transversal do revestimento e a FIGURA 28 (b) exemplifica a quantificação dos constituintes, sendo que os óxidos estão representados pela cor verde, os poros pela cor vermelha e a fase metálica pela cor amarela.

FIGURA 28 - EXEMPLO DE CONVERSÃO DE TONS DE CINZA PARA CORES.

(A) IMAGEM ORIGINAL BSE E (B) APÓS QUANTIFICAÇÃO.



FONTE: A Autora (2017).

6.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

De uma forma geral, foram realizados estudos independentes para cada processo de jateamento. Isso se deve ao fato de que cada processo possui suas particularidades e com características operacionais diferentes.

Sendo assim, justifica-se o uso de ferramentas estatísticas que auxiliem na tomada de decisão. Uma dessas ferramentas é o método de Taguchi, é um método de desenho de experimentos que permite avaliar como diferentes parâmetros afetam a média e a variância de uma característica de desempenho do processo. O

delineamento de experimentos proposto por Taguchi envolve o uso de matrizes ortogonais, para organizar os parâmetros que afetam o processo, e os níveis, que devem ser variados, permitindo a coleta de dados necessários para determinar quais os fatores que mais afetam a qualidade do produto, com uma quantidade mínima de experimentos, poupando assim, tempo e recursos (TAGUCHI, 1990; ROY, 2001; LIRA, 2012).

Entre os arranjos previstos pelo planejamento de Taguchi, o que se adapta ao interesse deste estudo é o arranjo ortogonal L9 com 4 fatores e 3 níveis. A TABELA 9 contém os fatores e níveis selecionados para o equipamento Pinovo e a TABELA 10 mostra o arranjo ortogonal L9 de Taguchi com cada conjunto de parâmetros.

TABELA 9 - FATORES E NÍVEIS UTILIZADOS PARA O PINOVO.

Fator	Nível		
Pressão de Jateamento (bar)	3,5	4,0	4,5
Pressão de Sucção (bar)	6,0	6,5	7,0
Granulometria do Abrasivo (mesh)	60	36	20
Tipo do Abrasivo	Branco	Branco Reciclado	Marrom

FONTE: A autora (2017).

TABELA 10 - ARRANJO ORTOGONAL L9 TAGUCHI PARA O PINOVO.

Experimento	Pressão de Jateamento (bar)	Pressão de Sucção (bar)	Granulometria do Abrasivo (mesh)	Tipo do Abrasivo
P1	3,5	6	60	Branco
P2	3,5	6,5	36	Branco Reciclado
P3	3,5	7	20	Marrom
P4	4	6	36	Marrom
P5	4	6,5	20	Branco
P6	4	7	60	Branco Reciclado
P7	4,5	6	20	Branco Reciclado
P8	4,5	6,5	60	Marrom
P9	4,5	7	36	Branco

FONTE: A autora (2017).

A TABELA 11 contém os fatores e níveis selecionados para o equipamento Sponge-jet e a TABELA 12 mostra o arranjo ortogonal L9 de Taguchi com cada conjunto de parâmetros.

TABELA 11 - FATORES E NÍVEIS UTILIZADOS PARA O SPONGE-JET

Fator	Nível		
Pressão de Jateamento (bar)	1,7	2,4	3,1
Distância (mm)	100	200	300
Granulometria do Abrasivo (mesh)	60	30	16
Ângulo (°)	30	60	90

FONTE: A autora (2017).

TABELA 12 - ARRANJO ORTOGONAL L9 TAGUCHI PARA O SPONGE-JET

Experimento	Pressão de Jateamento (bar)	Distância (mm)	Granulometria do Abrasivo (mesh)	Ângulo (°)
S1	1,7	100	60	30
S2	1,7	200	30	60
S3	1,7	300	16	90
S4	2,4	100	30	90
S5	2,4	200	16	30
S6	2,4	300	60	60
S7	3,1	100	16	60
S8	3,1	200	60	90
S9	3,1	300	30	30

FONTE: A autora (2017).

Para cada experimento foram confeccionadas três amostras e realizada a medição de rugosidade, com os resultados foram confeccionados gráficos que apresentam o valor da média destes três valores.

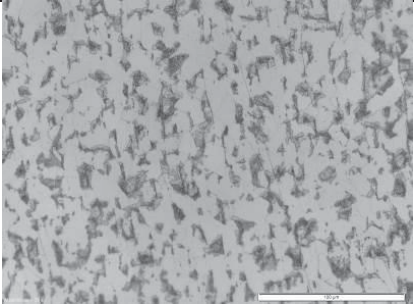
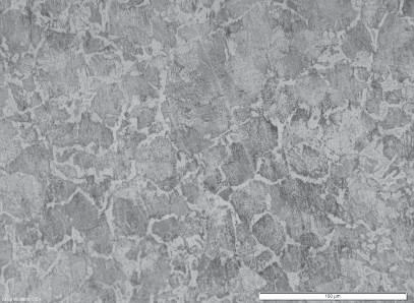
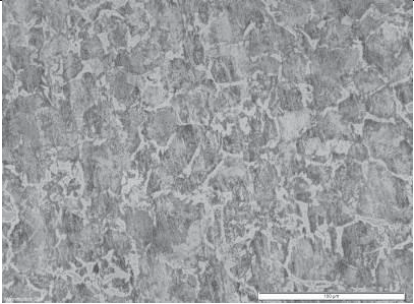
Após a avaliação da rugosidade serão selecionados três experimentos, o que apresentar maiores valores de rugosidade, o que apresentar menores valores de rugosidade e por fim o que apresentar valores intermediários de rugosidade. As amostras preparadas com os parâmetros de jateamento dos experimentos selecionados passarão pelas demais caracterizações, sendo elas: nível de partícula incrustada, ensaio de dobramento, medição de aderência e morfologia da estrutura lamelar.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 SUBSTRATO

A TABELA 13 contém a microestrutura e a média de dureza encontrada para os materiais utilizados como substrato.

TABELA 13 - MATERIAIS UTILIZADOS COMO SUBSTRATO PARA O JATEAMENTO

MATERIAL	MICROESTRUTURA	DUREZA (HV)
AISI 1020		150
AISI 1045		230
AISI 1045T		810

FONTE: A autora (2017).

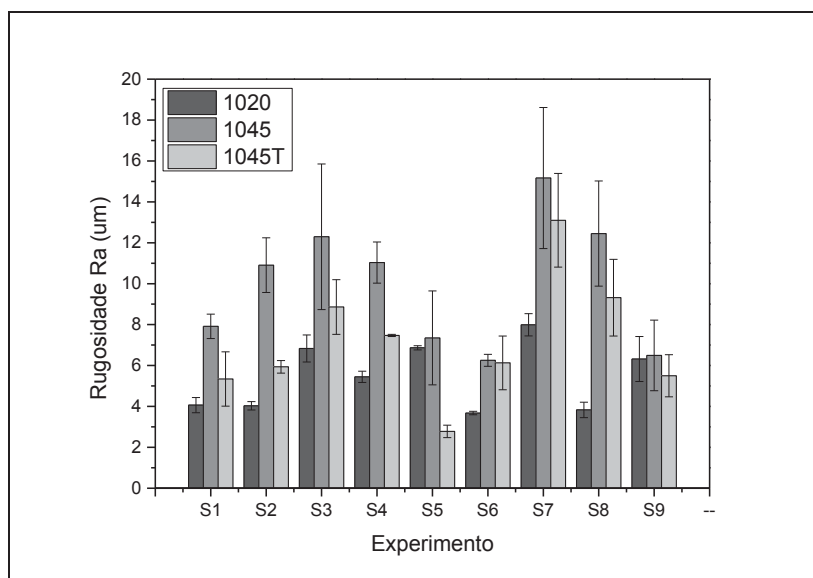
Verifica-se a existência de uma estrutura ferrítica-perlítica indicando-se tratar de um aço baixo carbono. A região clara da amostra refere-se a fase que apresenta maior teor de ferro (ferrita). A região escura refere-se a fase com maior teor de carbono, sendo também formada por ferrita e cementita (carboneto de ferro), denominada perlita. Pode-se observar que o 1045T apresentou estrutura ferrítica-perlítica refinada, sem gerar formação significativa, ou visível em microscopia ótica.

7.2 RUGOSIDADE

A seguir serão apresentados os resultados dos parâmetros Ra, Ry e Rz de rugosidade medidos nos corpos de prova preparados pelo processo Sponge-jet e Pinovo, respectivamente.

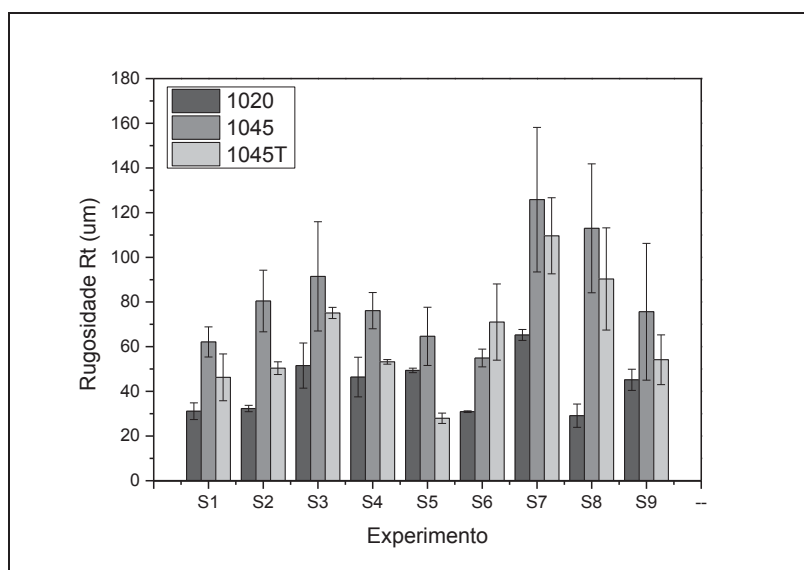
A FIGURA 29, FIGURA 30 e FIGURA 31 contêm os resultados das rugosidades medidas com perfilômetro ótico para os corpos de prova preparados pelo sistema Sponge-jet dos materiais AISI 1020, AISI 1045 e AISI 1045T.

FIGURA 29 - RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RA DE RUGOSIDADE MEDIDOS EM PERFILÔMETRO ÓTICO PARA OS CORPOS DE PROVA PREPARADOS PELO EQUIPAMENTO SPONGE-JET.



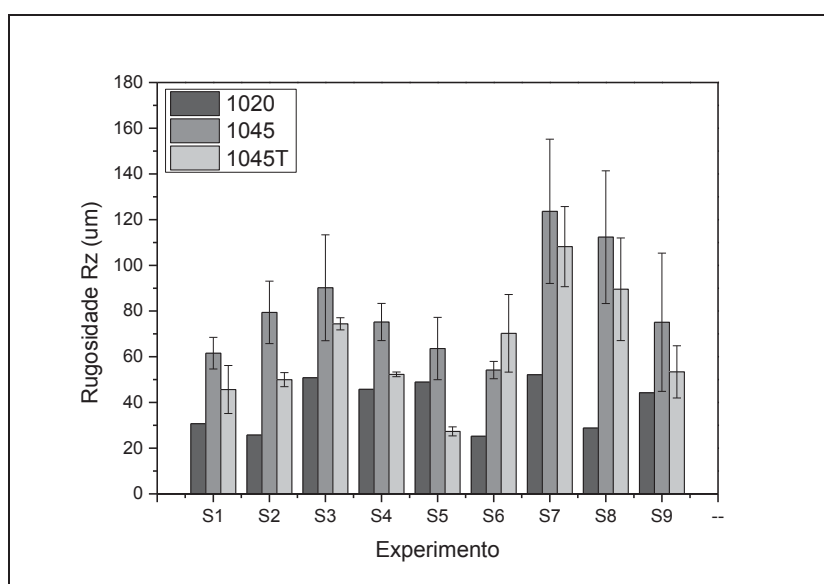
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 30 - RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RT DE RUGOSIDADE MEDIDOS EM PERFILÔMETRO ÓTICO PARA OS CORPOS DE PROVA PREPARADOS PELO EQUIPAMENTO SPONGE-JET.



FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 31 - RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RZ DE RUGOSIDADE MEDIDOS EM PERFILÔMETRO ÓTICO PARA OS CORPOS DE PROVA PREPARADOS PELO EQUIPAMENTO SPONGE-JET.



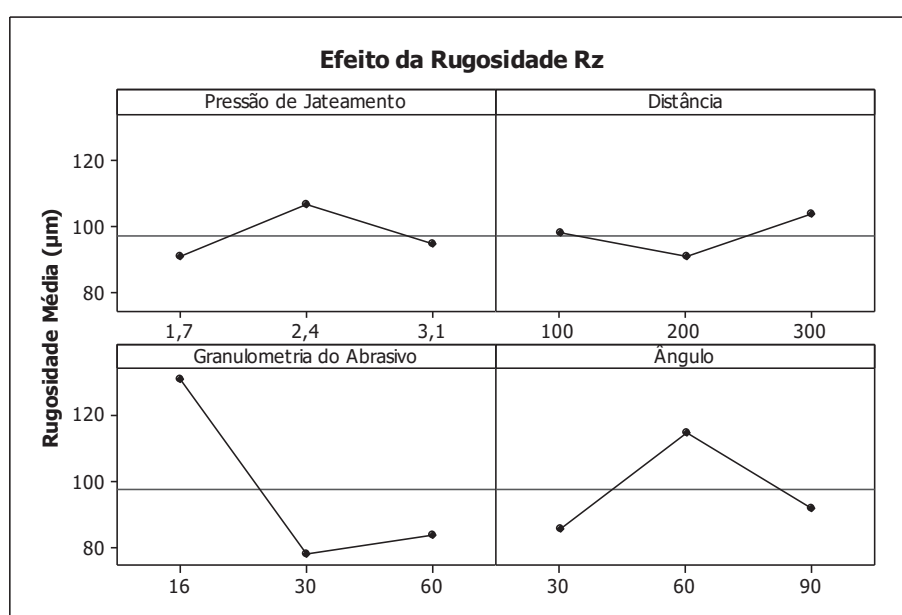
FONTE: A Autora (2017).

É possível notar que todos os experimentos apresentaram valores de rugosidade diferente de acordo com o material utilizado, com o mesmo parâmetro de preparo. Verifica-se ainda, na maioria dos resultados, que as maiores rugosidades

foram encontradas no material 1045, seguida do material 1045T e por último o material 1020.

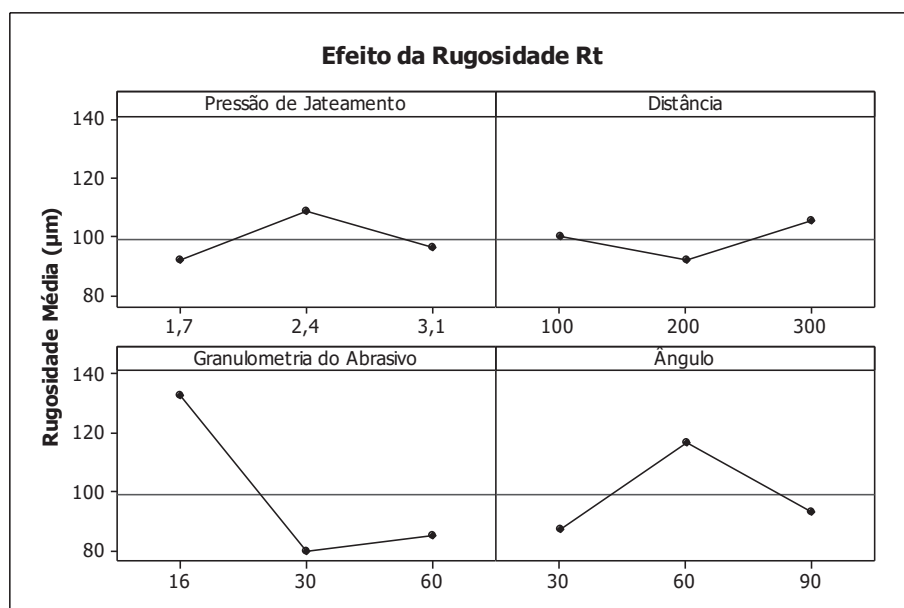
A FIGURA 32, FIGURA 33 e FIGURA 34 apresentam os gráficos dos efeitos dos parâmetros sobre o aumento da rugosidade nos parâmetros Rz, Rt e Ra, respectivamente, do material AISI 1020, para os diferentes parâmetros do sistema de jateamento Sponge-jet.

FIGURA 32 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RZ DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1020 PREPARADOS PELO SISTEMA SPONGE-JET.



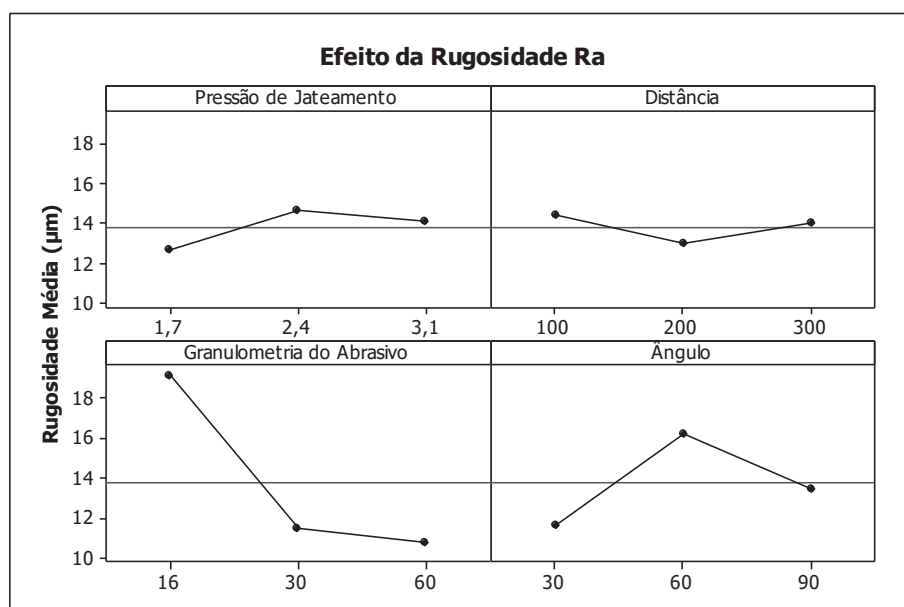
FONTE: A autora (2017).

FIGURA 33 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RT DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1020 PREPARADOS PELO SISTEMA SPONGE-JET.



FONTE: A autora (2017).

FIGURA 34 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RA DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1020 PREPARADOS PELO SISTEMA SPONGE-JET.



FONTE: A autora (2017).

O gráfico de efeitos principais é utilizado para examinar as diferenças entre as médias de nível para um ou mais fatores. Há um efeito principal quando diferentes níveis de um fator afetar a resposta de maneira diferente. Um gráfico de efeitos

principais representa graficamente a resposta média para cada nível de fator ligado por uma linha.

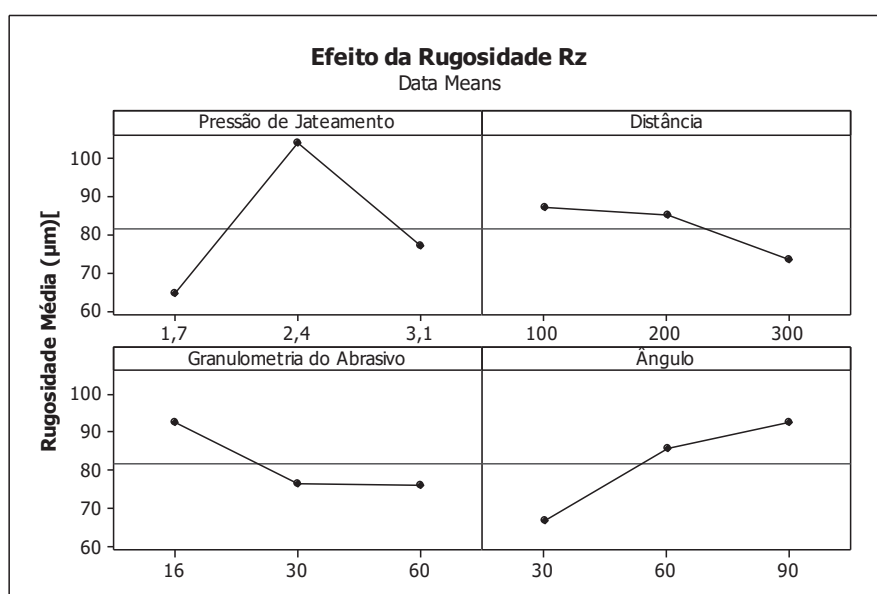
Quando a linha é horizontal (paralela ao eixo x), não há nenhum efeito principal. Cada nível do fator afeta a resposta do mesmo modo, e a resposta média é a mesma em todos os níveis de fator.

Quando a linha não é horizontal, existe um efeito principal. Diferentes níveis de fator de afetam a resposta de maneira diferente. Quanto maior a inclinação da linha, maior é a magnitude do efeito principal.

Observa-se que para a amostra 1020 que a mudança de rugosidade da superfície foi mais nítida com a alteração na granulometria do abrasivo, sendo que os níveis de rugosidade obtidos com abrasivo 30 e 60 mesh foram muito semelhantes. O abrasivo 16 foi responsável por maiores níveis de rugosidade. Maiores níveis de rugosidade foram obtidos com valores intermediários de pressão e ângulo de jateamento. A distância de jateamento não apresentou efeito principal visto que, esta praticamente representada como uma linha horizontal.

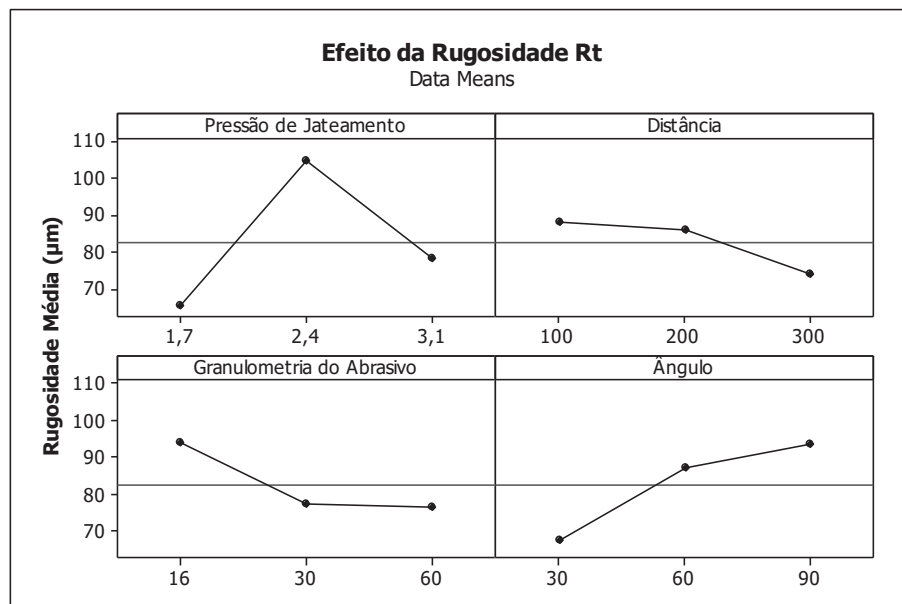
A FIGURA 35, FIGURA 36 e FIGURA 37 apresentam os gráficos dos efeitos dos parâmetros sobre o aumento da rugosidade nos parâmetros Rz, Rt e Ra, respectivamente, do material AISI 1045, para os diferentes parâmetros do sistema de jateamento Sponge-jet.

FIGURA 35 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RZ DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045 PREPARADOS PELO SISTEMA SPONGE-JET.



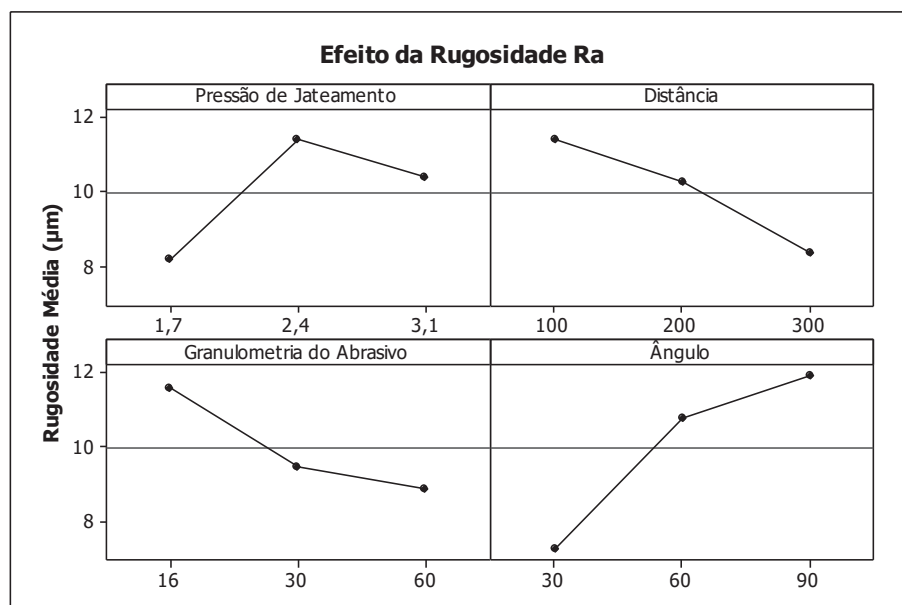
FONTE: A autora (2017).

FIGURA 36 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RT DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045 PREPARADOS PELO SISTEMA SPONGE-JET.



FONTE: A autora (2017).

FIGURA 37 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RA DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045 PREPARADOS PELO SISTEMA SPONGE-JET.

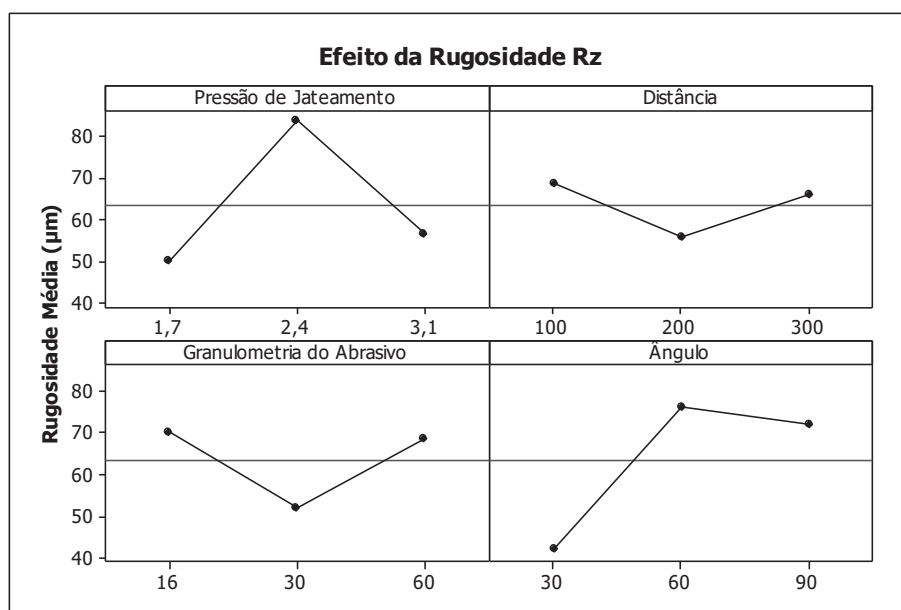


FONTE: A autora (2017).

A FIGURA 38, FIGURA 39 e FIGURA 40 apresentam os gráficos dos efeitos dos parâmetros sobre o aumento da rugosidade nos parâmetros Rz, Rt e Ra,

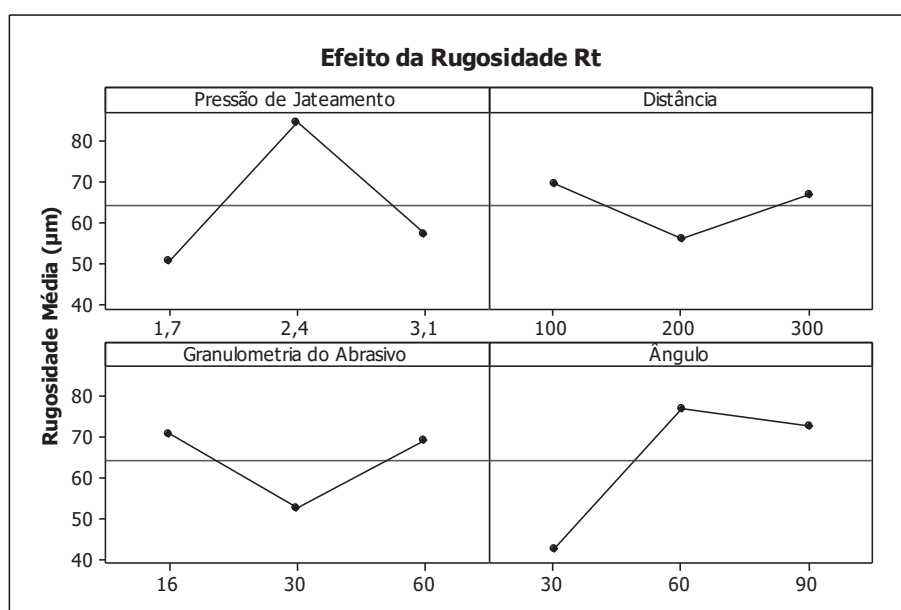
respectivamente, do material AISI 1045T, para os diferentes parâmetros do sistema de jateamento Sponge-jet.

FIGURA 38 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RZ DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045T PREPARADOS PELO SISTEMA SPONGE-JET.



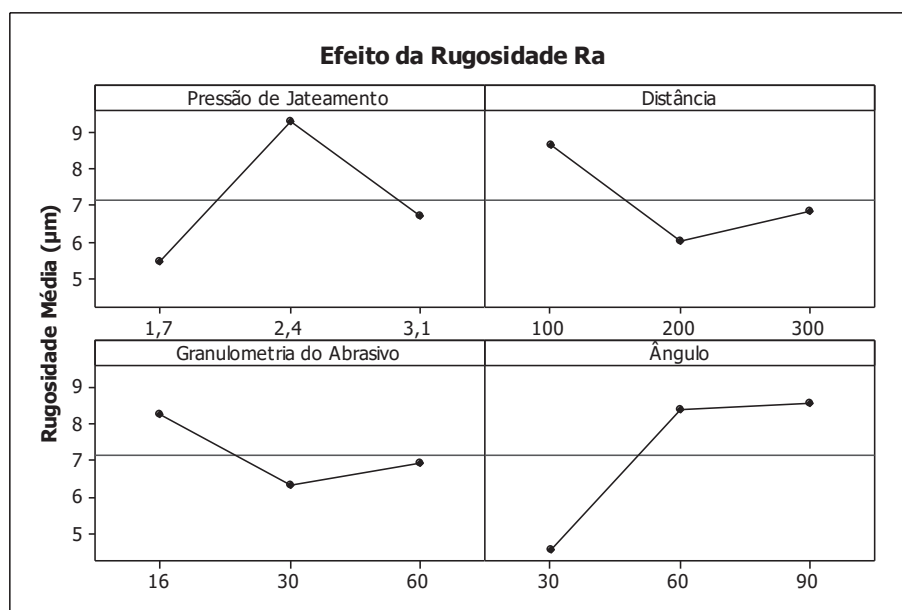
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 39 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RT DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045T PREPARADOS PELO SISTEMA SPONGE-JET.



FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 40 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RA DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045T PREPARADOS PELO SISTEMA SPONGE-JET.



FONTE: A Autora (2017).

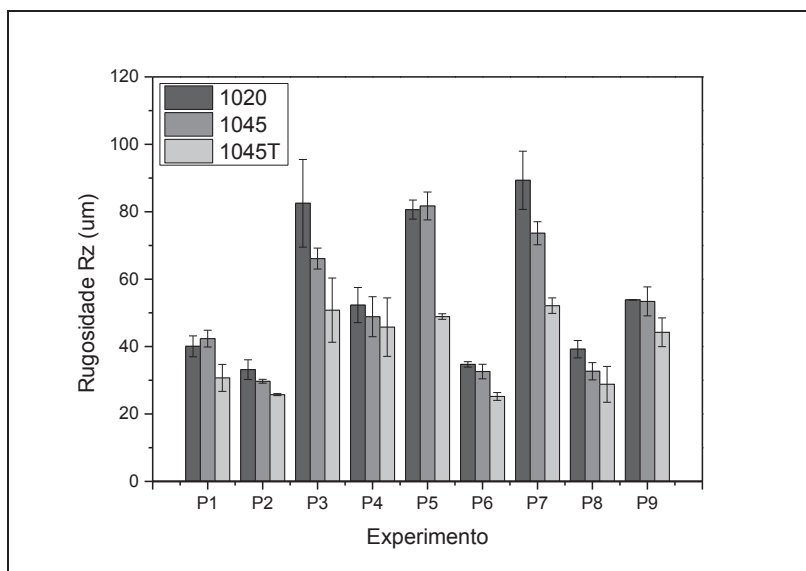
Observa-se para as amostras 1045 e 1045T a mudança de rugosidade da superfície com os parâmetros de jateamento foi diferente da observada para a amostra 1020. A mudança da rugosidade, com os diferentes parâmetros utilizados, foi mais sensível para estes materiais.

Pode-se ver claramente que ao elevar a dureza do substrato observa-se uma redução na rugosidade do material. Por exemplo, a adoção de maiores ângulos de jateamento provocou um aumento de rugosidade mais significativo nos materiais mais duros. A adoção de abrasivo 16 mesh foi responsável por maiores níveis de rugosidade nos materiais 1045 e 1045T, porém com menor variação que a observada no 1020.

A pressão de jateamento apresentou o mesmo comportamento, com o aumento da rugosidade para valor intermediário. Provavelmente o aumento da pressão gerou uma redução na eficiência pela incorporação de partículas. O efeito da distância foi mais nítido para as ligas 1045 e 1045T, principalmente Ra, com uma redução da rugosidade com o aumento da distância.

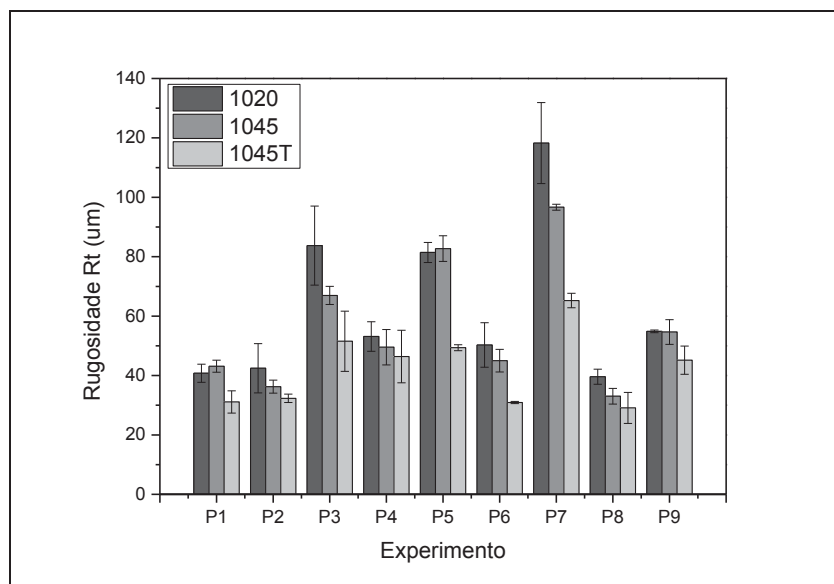
A FIGURA 41, FIGURA 42 e FIGURA 43 contém os resultados das rugosidades medidas com perfilômetro ótico para os corpos de prova preparados pelo sistema Sponge-jet dos materiais AISI 1020, AISI 1045 e AISI 1045T.

FIGURA 41 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RZ DE RUGOSIDADE MEDIDOS EM PERFILÔMETRO ÓTICO PARA OS CORPOS DE PROVA PREPARADOS PELO EQUIPAMENTO PINOVO.



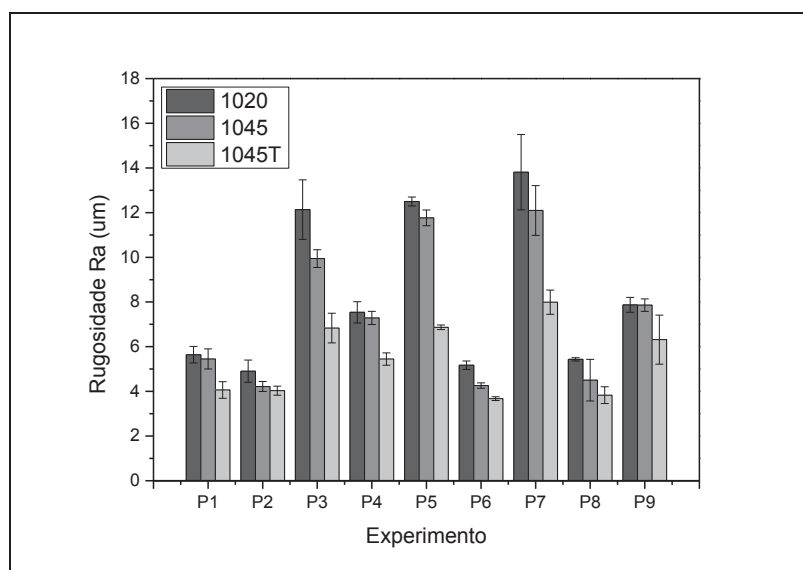
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 42 - RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RT DE RUGOSIDADE MEDIDOS EM PERFILÔMETRO ÓTICO PARA OS CORPOS DE PROVA PREPARADOS PELO EQUIPAMENTO PINOVO.



FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 43 - RESULTADOS PARA O PARÂMETRO RA DE RUGOSIDADE MEDIDOS EM PERFILÔMETRO ÓTICO PARA OS CORPOS DE PROVA PREPARADOS PELO EQUIPAMENTO PINOVO.



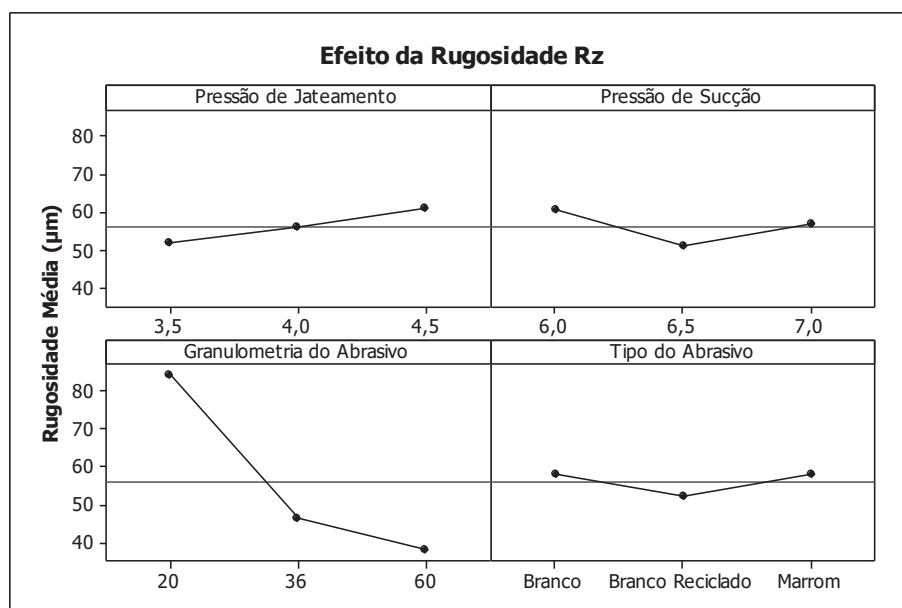
FONTE: A Autora (2017).

É possível notar que todos os experimentos apresentaram valores de rugosidade diferente de acordo com o material utilizado, com o mesmo parâmetro de jateamento. Verifica-se ainda que as maiores rugosidades foram encontradas no material 1020, seguida do material 1045 e por último 1045T.

A FIGURA 44, FIGURA 45 e FIGURA 46 apresentam os gráficos dos efeitos dos parâmetros sobre o aumento da rugosidade nos parâmetros Rz, Rt e Ra, respectivamente, do material AISI 1020 para os diferentes parâmetros do sistema de jateamento Pinovo.

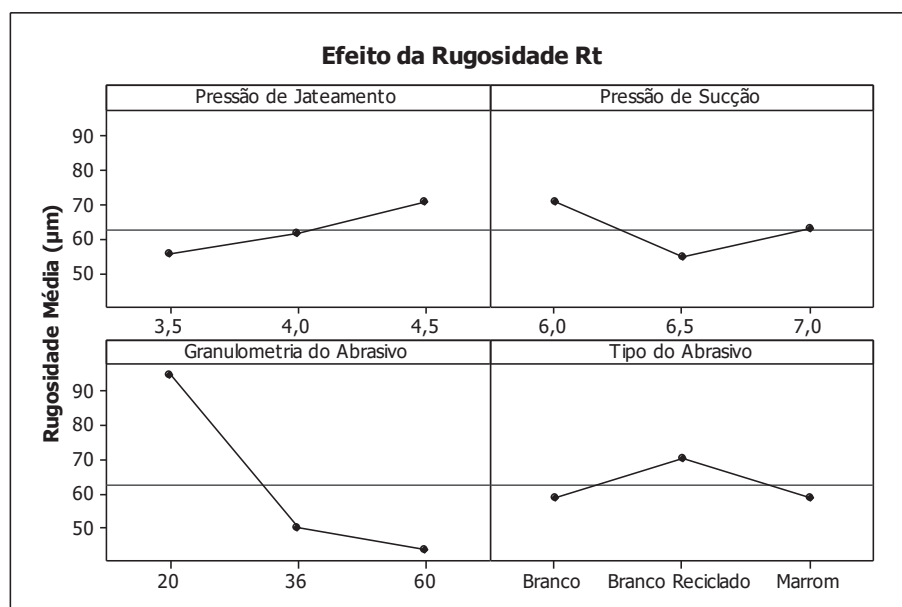
Observa-se que para as amostras 1020 e 1045 que a mudança de rugosidade da superfície foi mais nítida com a alteração na granulometria do abrasivo, sendo que os níveis de rugosidade obtidos com abrasivo 36 e 60 mesh foram muito semelhantes. O abrasivo 20 foi responsável por maiores níveis de rugosidade. Os demais parâmetros não apresentaram efeito principal visto que, estão praticamente representados como uma linha horizontal.

FIGURA 44 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RZ DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1020 PREPARADOS PELO SISTEMA PINOVO.



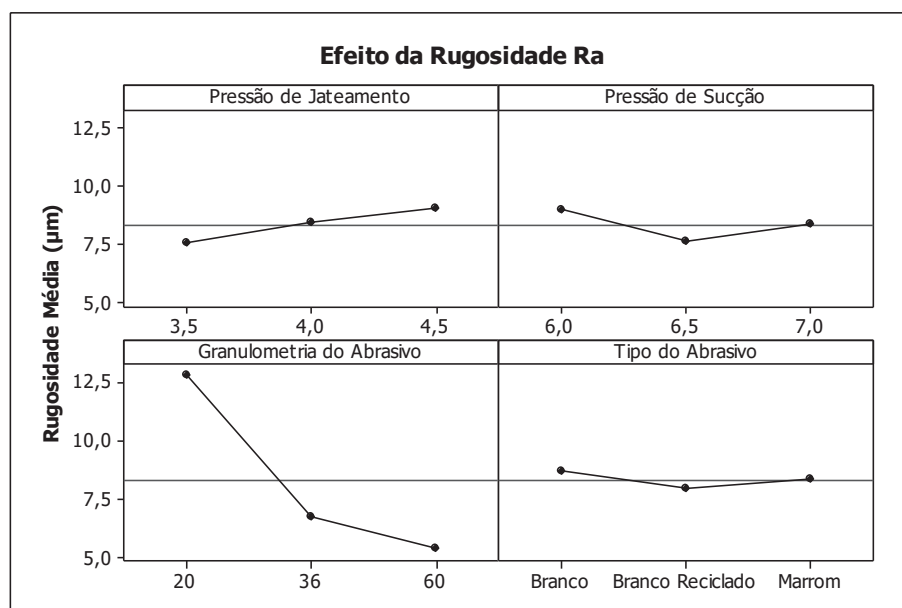
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 45 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RT DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1020 PREPARADOS PELO SISTEMA PINOVO.



FONTE: A Autora (2017).

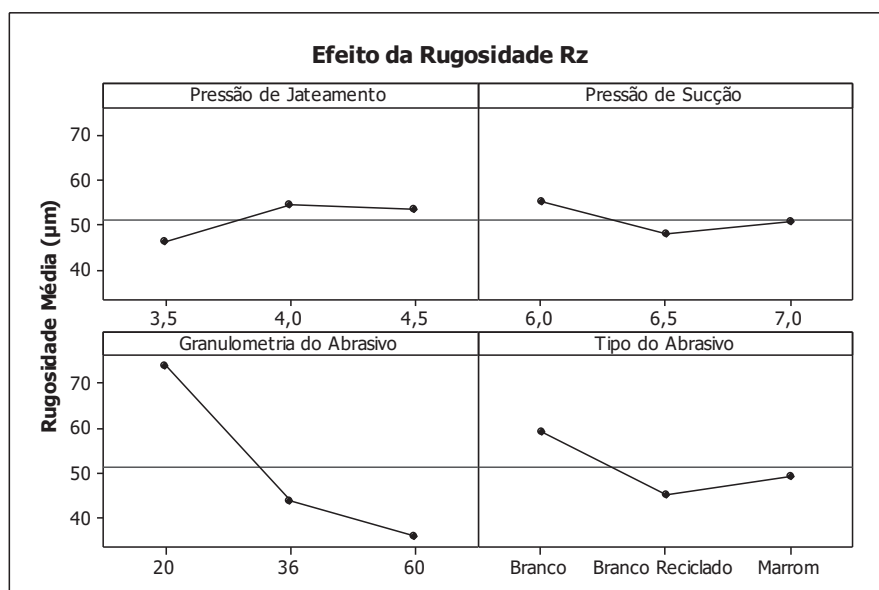
FIGURA 46 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RA DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1020 PREPARADOS PELO SISTEMA PINOVO.



FONTE: A Autora (2017).

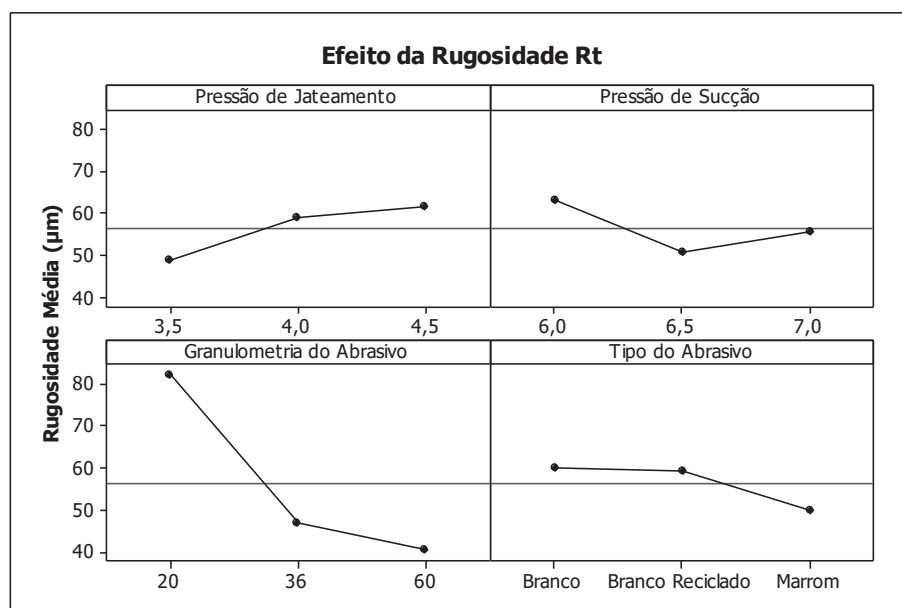
A FIGURA 47, FIGURA 48 e FIGURA 49 apresentam os gráficos dos efeitos dos parâmetros sobre o aumento da rugosidade nos parâmetros Rz, Rt e Ra, respectivamente, do material AISI 1020 para os diferentes parâmetros do sistema de jateamento Pinovo.

FIGURA 47 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RZ DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045 PREPARADOS PELO SISTEMA PINOVO.



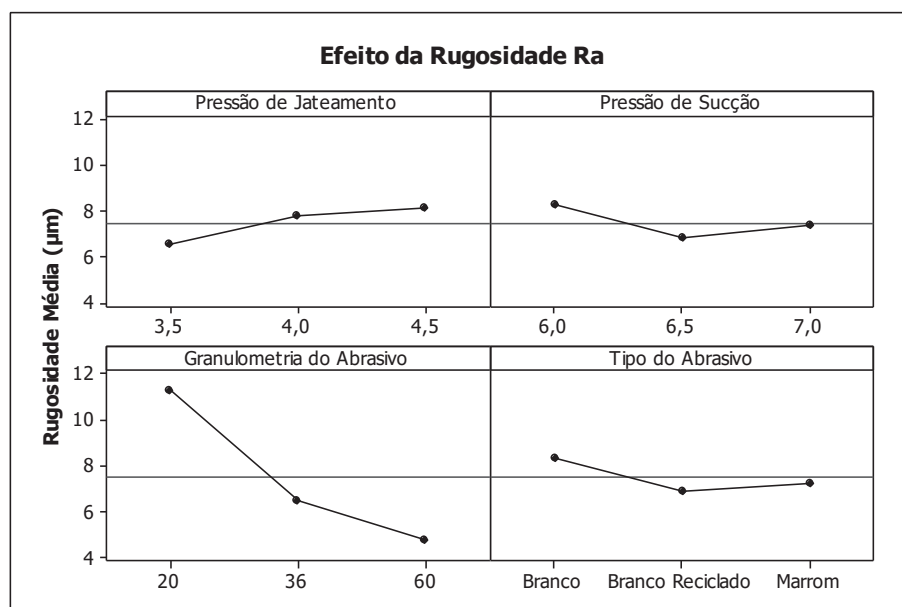
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 48 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE R_t DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045 PREPARADOS PELO SISTEMA PINOVO



FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 49 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE R_a DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045 PREPARADOS PELO SISTEMA PINOVO.



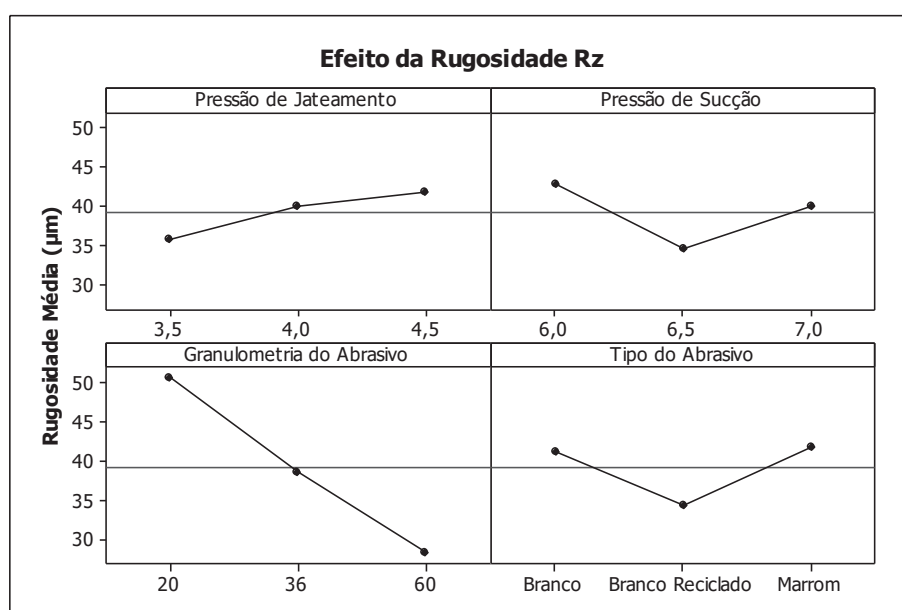
FONTE: A Autora (2017).

A FIGURA 50, FIGURA 51 e FIGURA 52 apresentam os gráficos dos efeitos dos parâmetros sobre o aumento da rugosidade nos parâmetros R_z , R_t e R_a ,

respectivamente, do material AISI 1045T para os diferentes parâmetros do sistema de jateamento Pinovo.

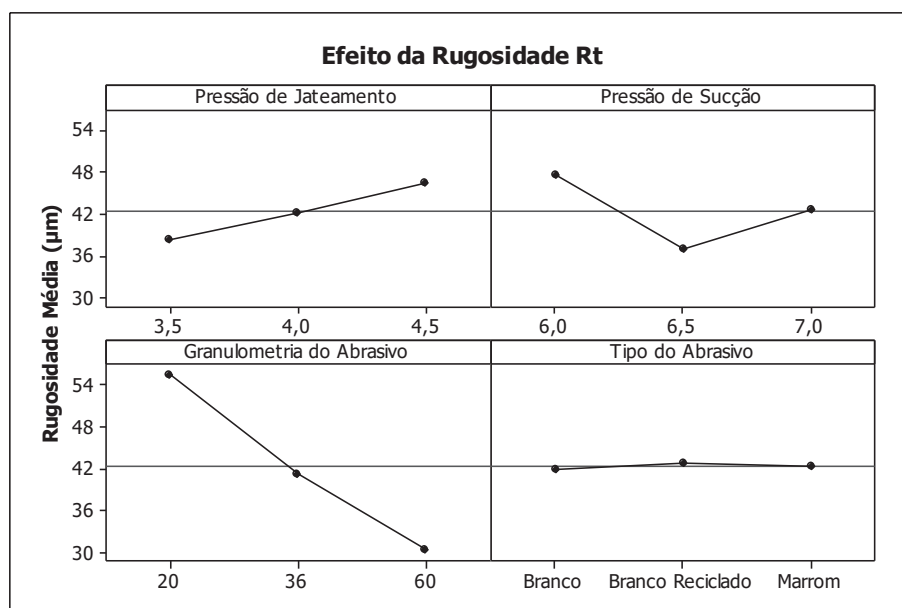
Observa-se que para a amostra 1045T que a mudança de rugosidade da superfície foi mais nítida com a alteração na granulometria do abrasivo, sendo decrescente de acordo com o aumento da granulometria. O abrasivo 20 foi responsável por maiores níveis de rugosidade. Os demais parâmetros não apresentaram efeito principal visto que, estão praticamente representados como uma linha horizontal. Porém, apresentaram curvas distintas das visualizadas nas amostras 1020 e 1045.

FIGURA 50 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RZ DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045T PREPARADOS PELO SISTEMA PINOVO.



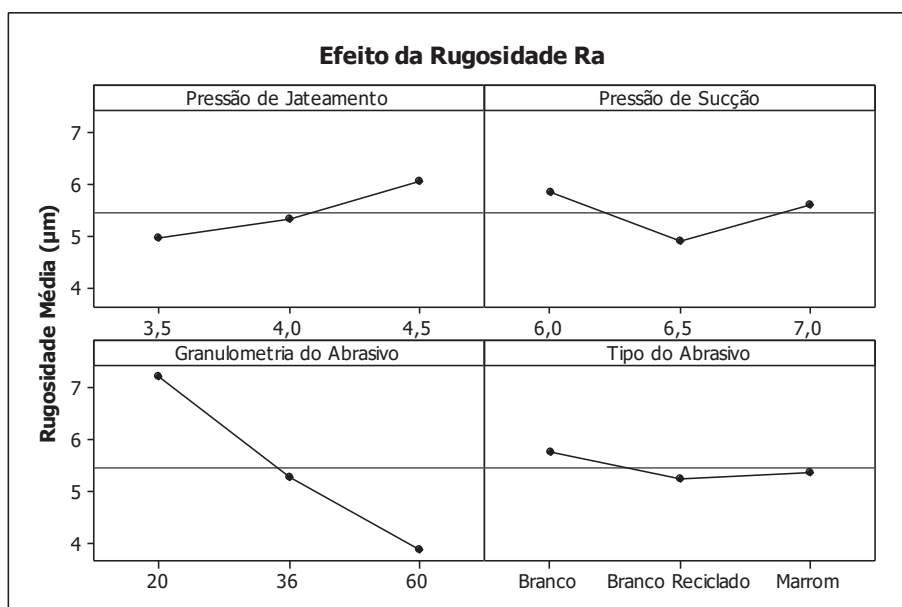
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 51 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RT DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045T PREPARADOS PELO SISTEMA PINOVO.



FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 52 - GRÁFICO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS SOBRE O AUMENTO DA RUGOSIDADE RA DOS CORPOS DE PROVA DE MATERIAL AISI 1045T PREPARADOS PELO SISTEMA PINOVO.



FONTE: A Autora (2017).

Após as análises realizadas com o auxílio dos gráficos de rugosidade foram selecionados os experimentos P2, P4 e P5 para o equipamento Pinovo e os experimentos S1, S7 e S9 para o equipamento Sponge-jet.

O experimento P2 apresentou menores valores de rugosidade, o experimento P4 apresentou valores intermediários de rugosidade e o experimento P5 apresentou maiores valores de rugosidade. O experimento S1 apresentou menores valores de rugosidade, o experimento S9 apresentou valores intermediários de rugosidade e o experimento S7 apresentou maiores valores de rugosidade, conforme indicado na Tabela 14.

TABELA 14 - VALORES DE RUGOSIDADE ENCONTRADA PARA OS EXPERIMENTOS SELECIONADOS.

Experimento	1020			1045			1045T		
	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra	Rz	Rt	Ra
P2	33,15	42,44	4,90	29,71	36,26	4,22	25,74	32,32	4,03
P4	52,30	53,13	7,54	48,87	49,53	7,29	45,77	46,40	5,45
P5	80,63	81,43	12,50	81,70	82,73	11,77	48,90	49,37	6,87
S1	30,70	31,10	4,06	61,57	62,13	7,92	45,67	46,30	5,34
S7	52,14	65,24	7,99	123,63	125,80	15,17	108,20	109,63	13,10
S9	44,23	45,17	6,32	75,10	75,63	6,49	53,37	54,15	5,50

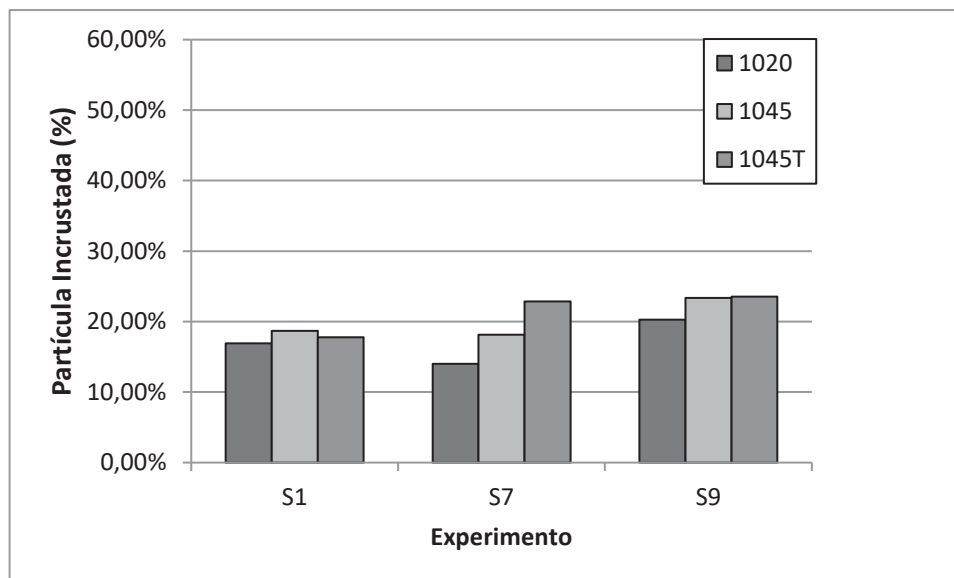
Fonte: A Autora (2017).

7.3 NÍVEL DE PARTICULAS ABRASIVAS INCRUSTADAS

Na análise de nível de partícula abrasiva incrustada através da técnica de *thersold* foi possível verificar que existe diferença se comparado os diferentes parâmetros utilizados para a preparação da superfície através do processo Sponge-jet, conforme pode ser visualizado na FIGURA 53. Os resultados apresentados para os experimentos S7 e S9 apresentaram maior nível de partículas incrustadas de acordo com a diminuição da dureza do material. Já os resultados apresentados para o experimento S1 não seguiram uma tendência.

Para as amostras 1020 e 1045 os valores de rugosidade são inversamente proporcionais ao nível de partícula incrustada. Esta característica não pode ser verificada na amostra 1045T.

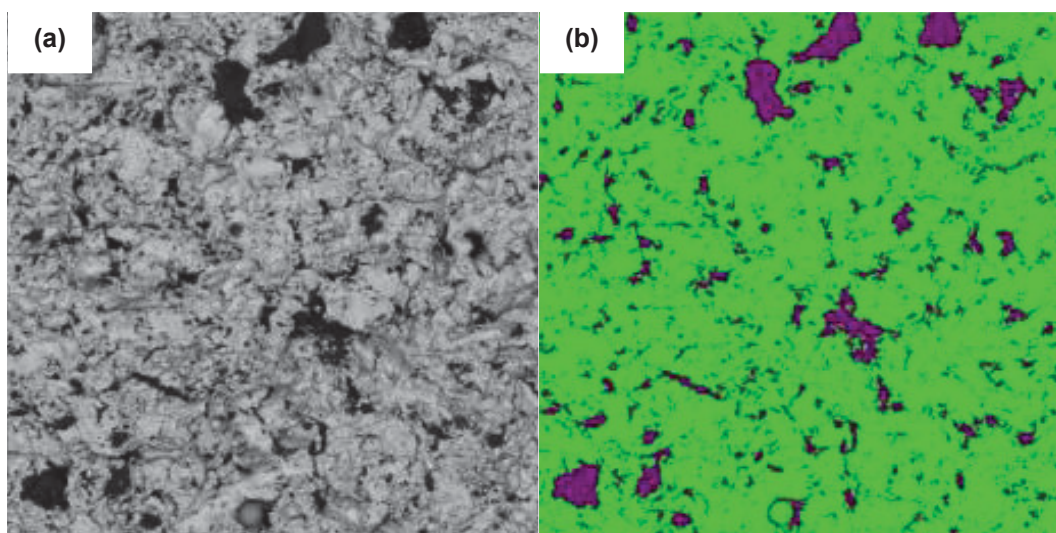
FIGURA 53 - PORCENTAGEM DE PARTÍCULAS INSRUSTADAS NA SUPERFÍCIE DAS AMOSTRAS PREPARADAS PELO PROCESSO SPONGE-JET.



FONTE: A Autora (2017).

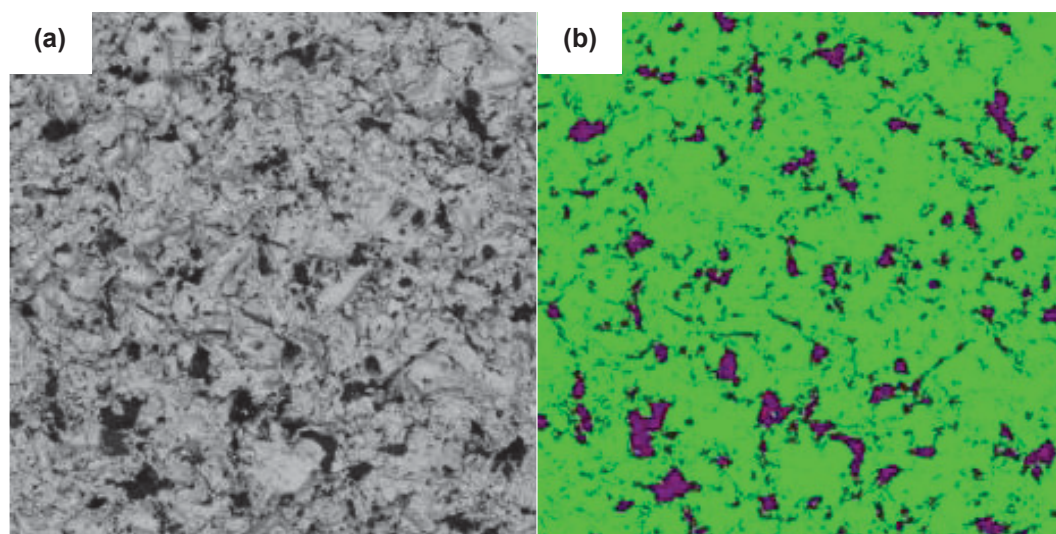
Da FIGURA 54 até a FIGURA 62 são apresentadas as imagens da superfície após jateamento das amostras preparadas pelo processo Sponge-jet.

FIGURA 54 - EXPERIMENTO S1 1020 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUENTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).



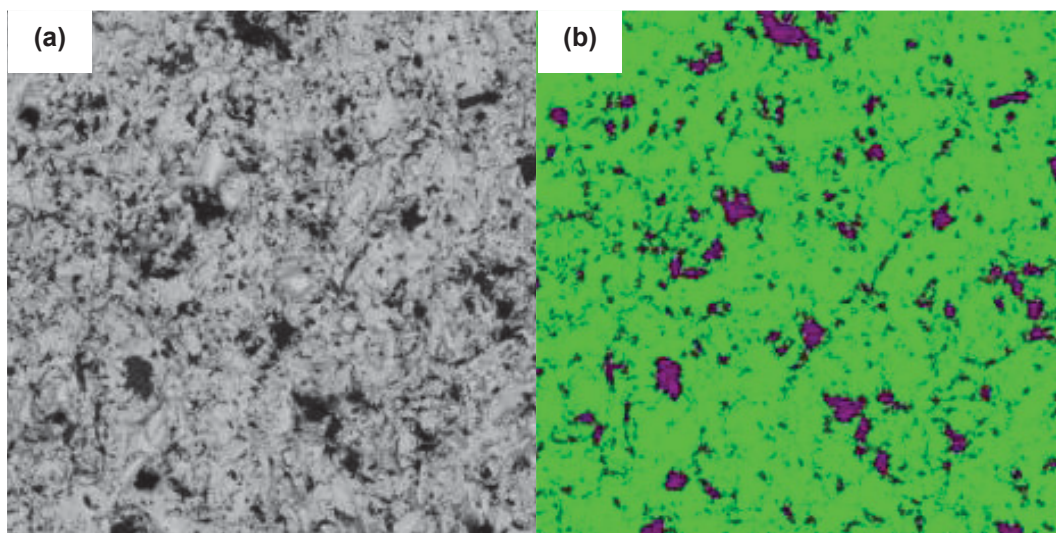
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 55 - EXPERIMENTO S1 1045 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).



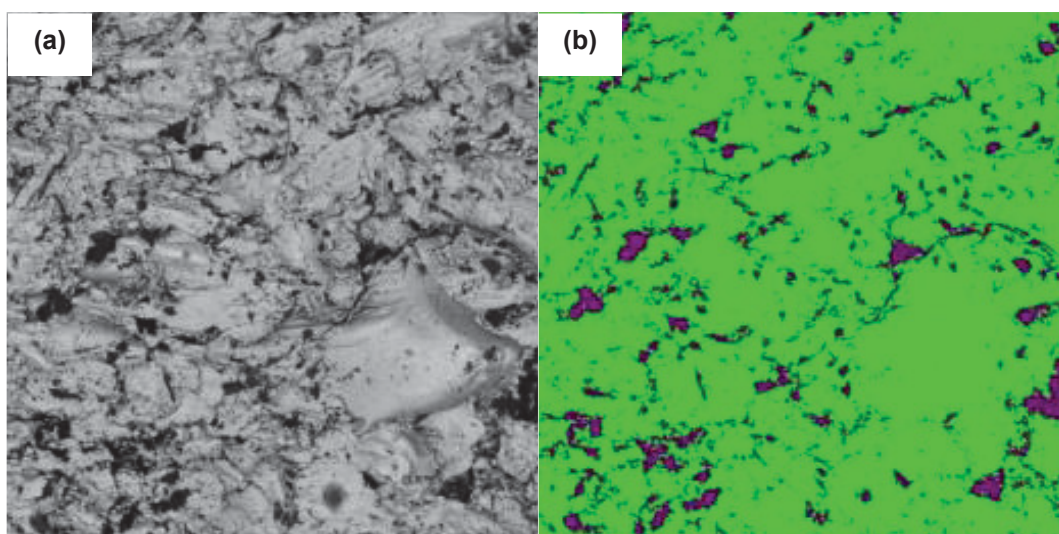
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 56 - EXPERIMENTO S1 1045T (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).



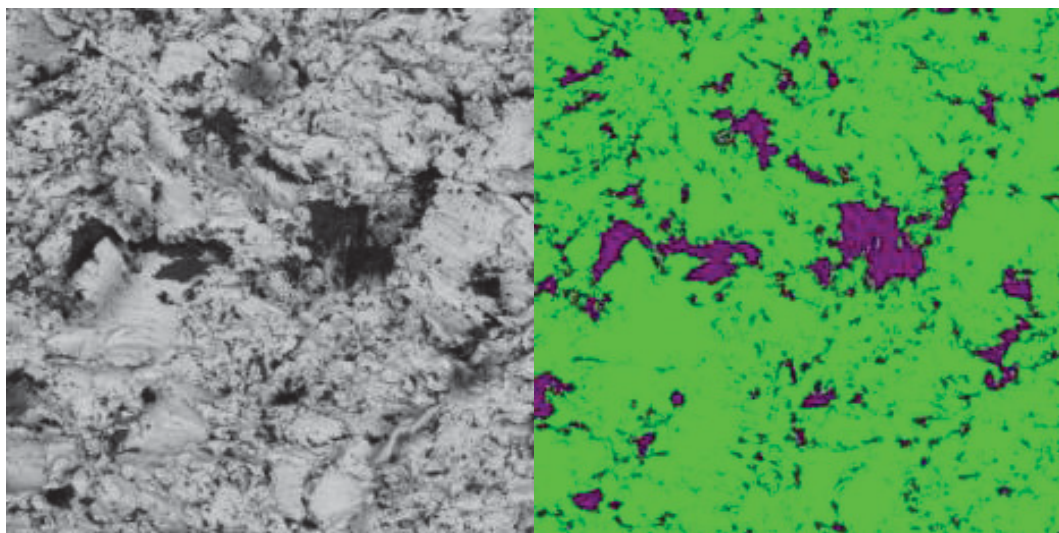
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 57 - EXPERIMENTO S7 1020 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS: ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).



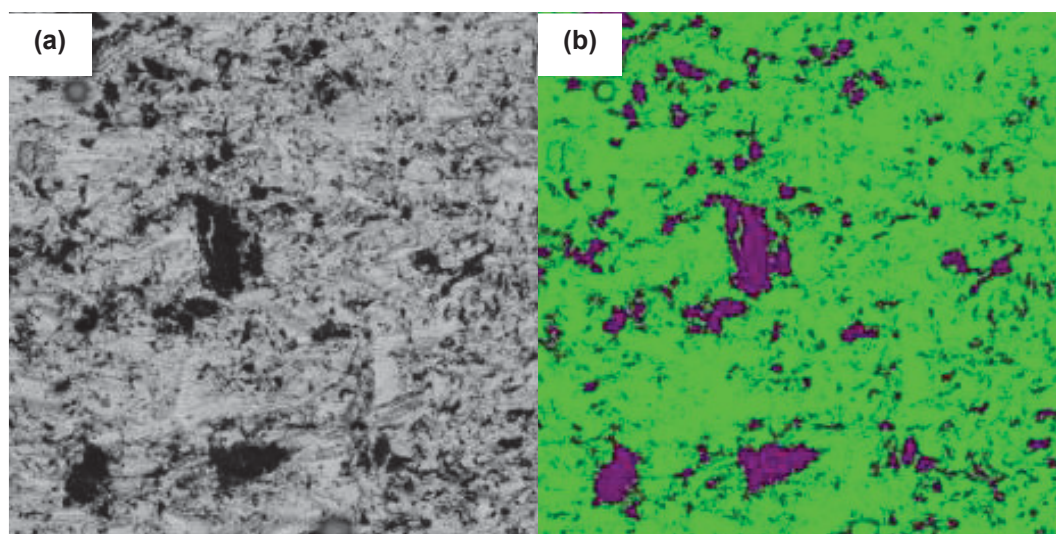
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 58 - EXPERIMENTO S7 1045 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS: ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).



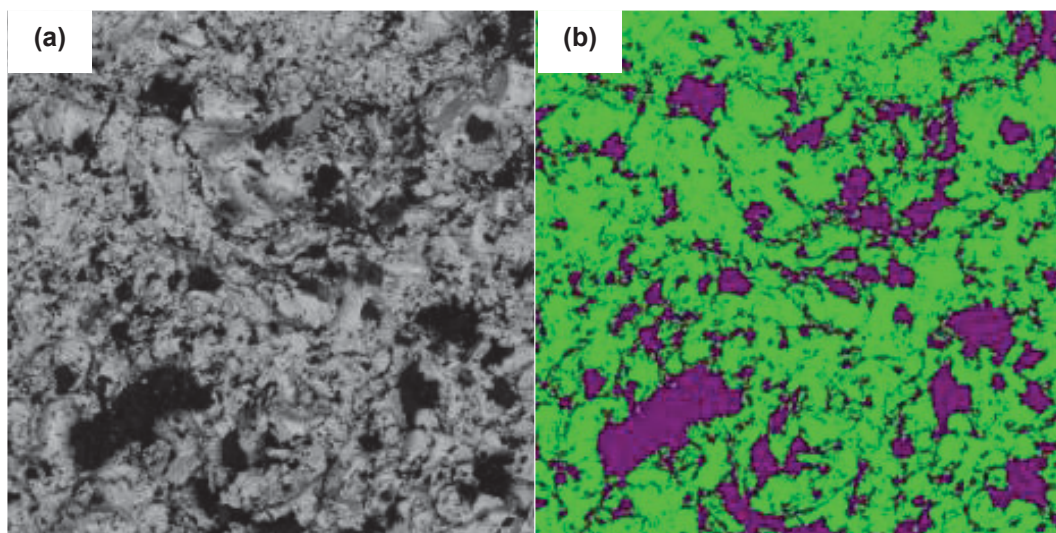
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 59 - EXPERIMENTO P2 1045T (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS: ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).



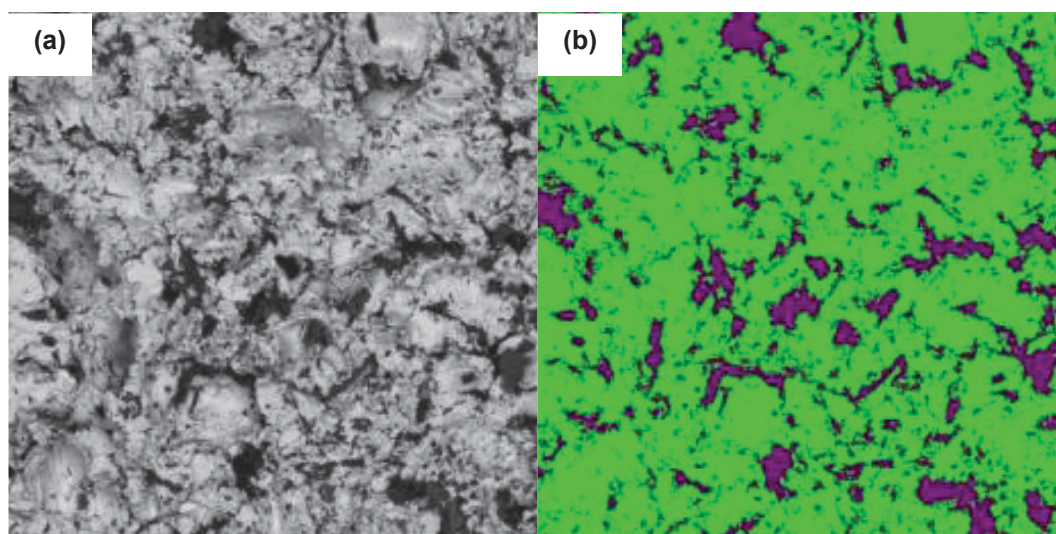
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 60 - EXPERIMENTO S9 1020 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS: ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).



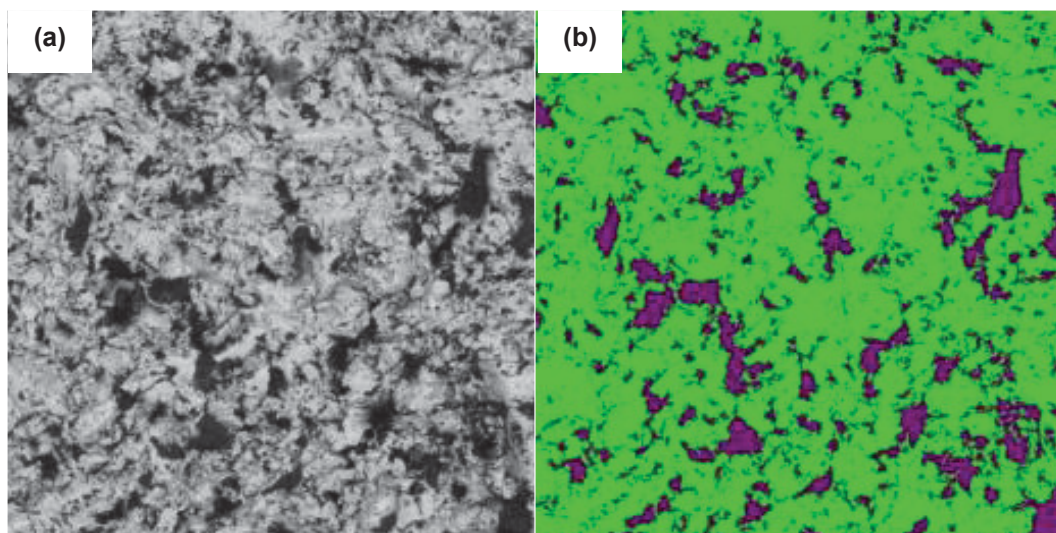
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 61 - EXPERIMENTO S9 1045 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).



FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 62 - EXPERIMENTO S9 1045T (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).



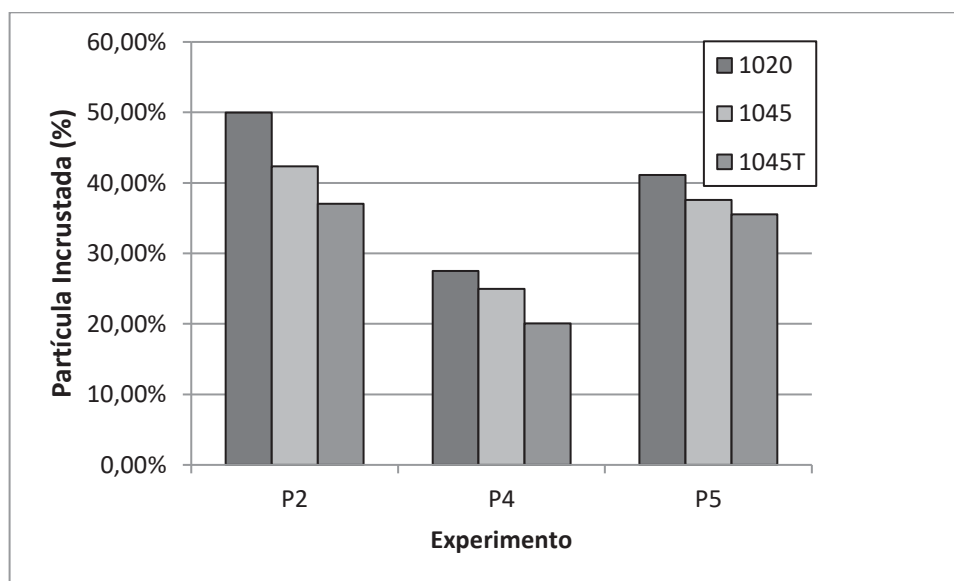
FONTE: A Autora (2017).

A FIGURA 63 apresenta os resultados encontrados para porcentagem de partícula incrustada dos diferentes experimentos realizados pelo processo Pinovo. Verifica-se menor nível de partícula incrustada de acordo com o maior valor de dureza para todos os ensaios realizados. Nota-se que as maiores porcentagens de partículas

incrustadas encontram-se no experimento P2, seguido dos experimentos P5 e P4 respectivamente.

O nível de partícula incrustada é maior no experimento que apresentou menores valores de rugosidade. Porém, não segue a tendência para os valores maiores e intermediários de rugosidade. Sendo observado menor nível de partículas incrustadas para as amostras com valores intermediários de rugosidade.

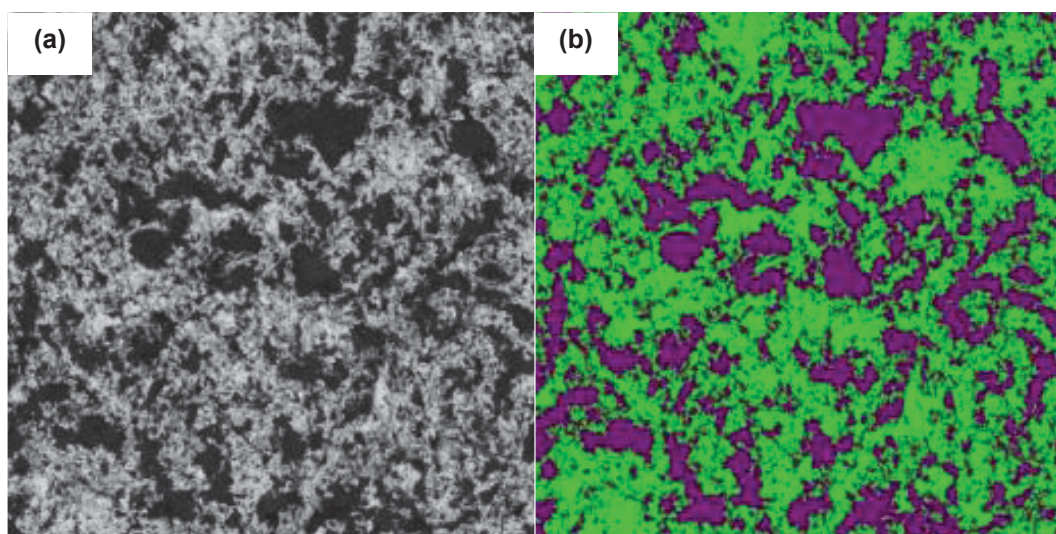
FIGURA 63 - PORCENTAGEM DE PARTÍCULAS INSRUSTADAS NA SUPERFÍCIE DAS AMOSTRAS PREPARADAS PELO PROCESSO PINOVO.



FONTE: A Autora (2017).

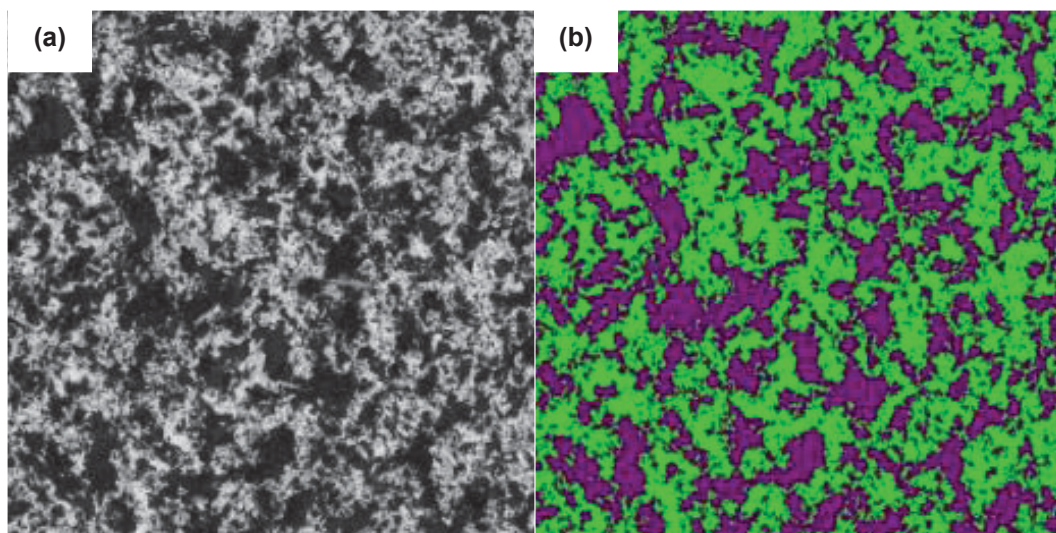
Da FIGURA 64 até a FIGURA 72 são apresentadas as imagens da superfície após jateamento das amostras preparadas pelo processo Pinovo.

FIGURA 64 - EXPERIMENTO P2 1020 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).



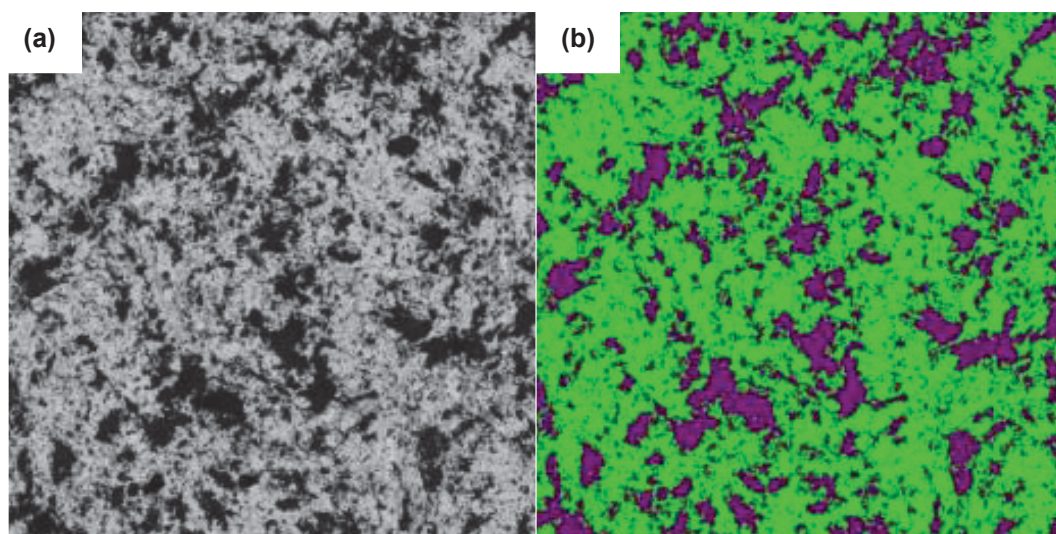
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 65 - EXPERIMENTO P2 1045 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).



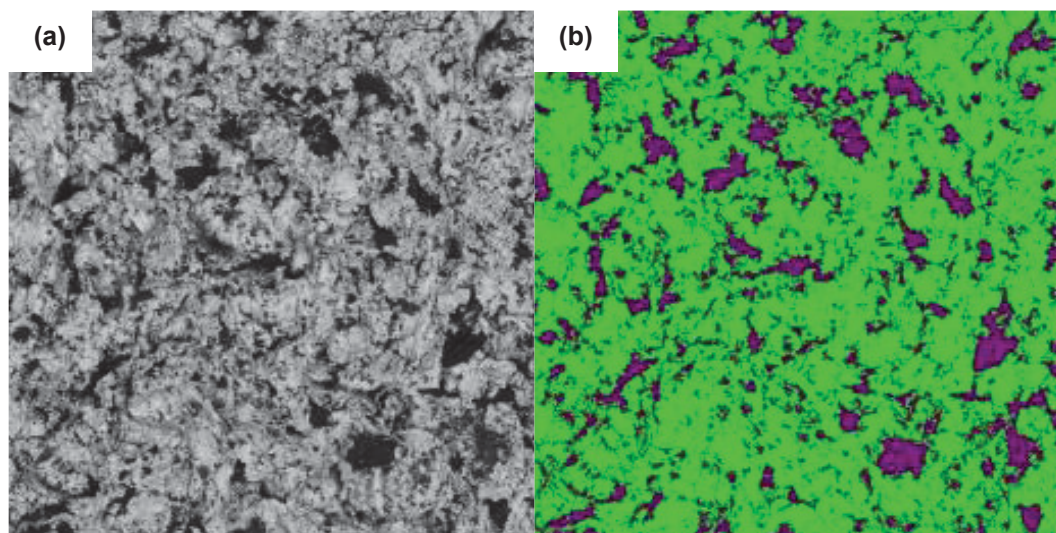
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 66 - EXPERIMENTO P2 1045T (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).



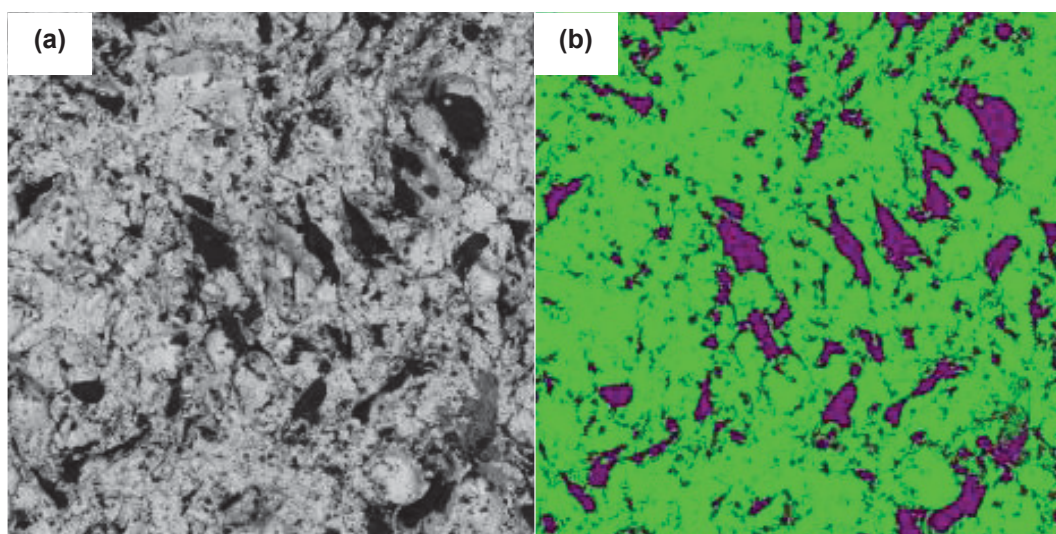
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 67 - EXPERIMENTO P4 1020 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).



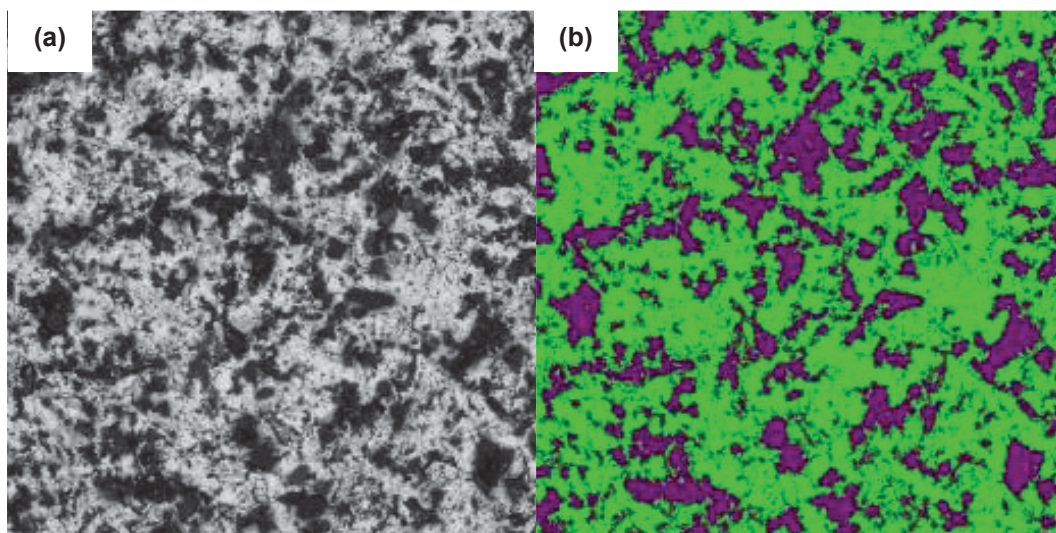
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 68 - EXPERIMENTO P4 1045 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).



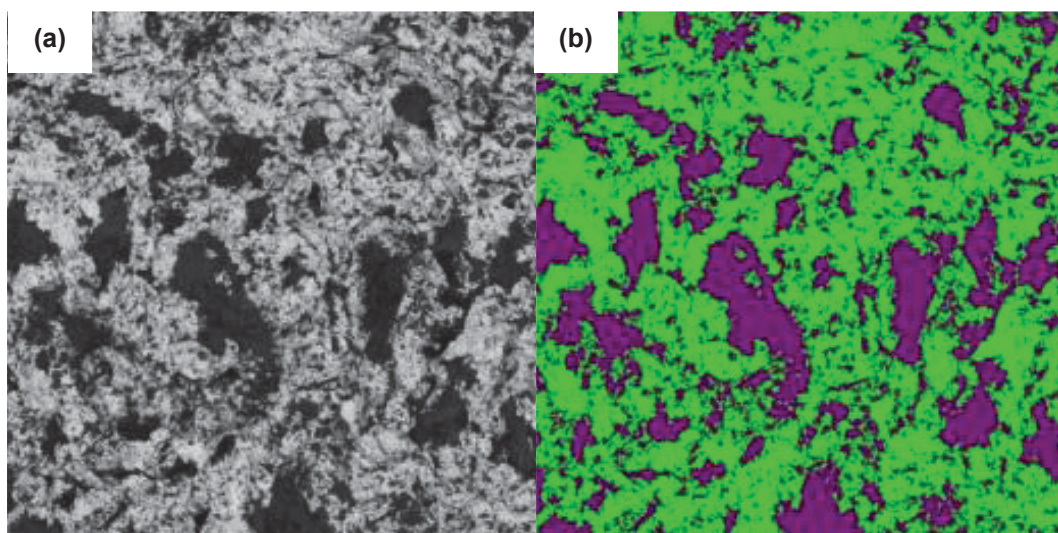
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 69 - EXPERIMENTO P4 1045T (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).



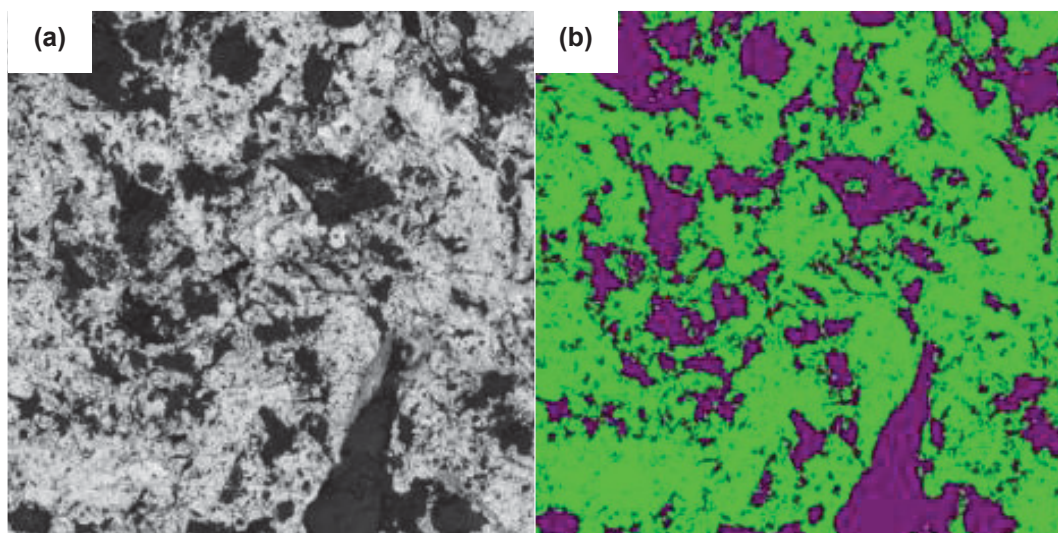
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 70 - EXPERIMENTO P5 1020 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).



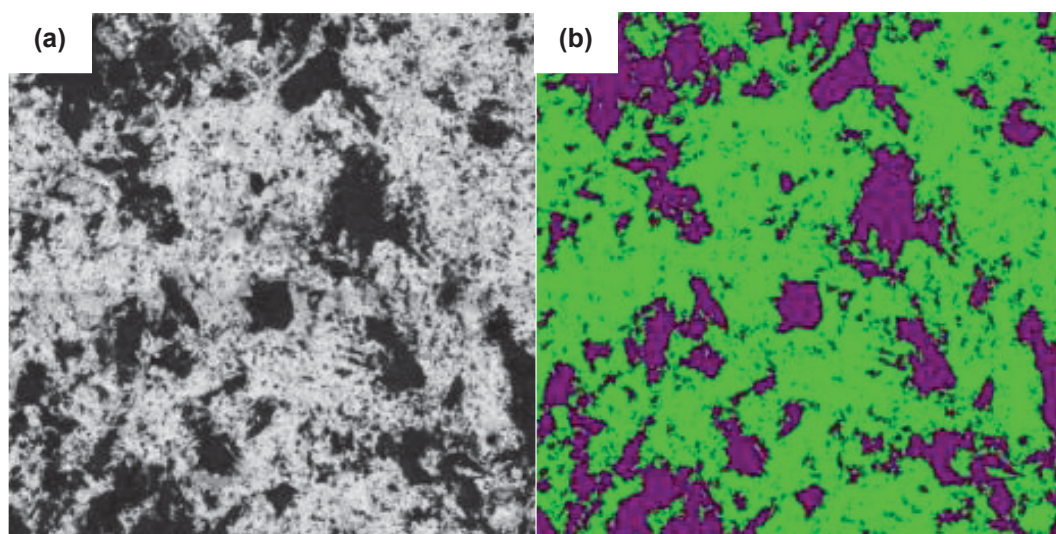
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 71 - EXPERIMENTO P5 1045 (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).



FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 72 - EXPERIMENTO P5 1045T (A) MEV DA SUPERFÍCIE APÓS JATEAMENTO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (PARTÍCULAS INCRUSTADAS:ROXO E FASE METÁLICA: VERDE).



FONTE: A Autora (2017).

7.4 ENSAIO DE DOBRAMENTO

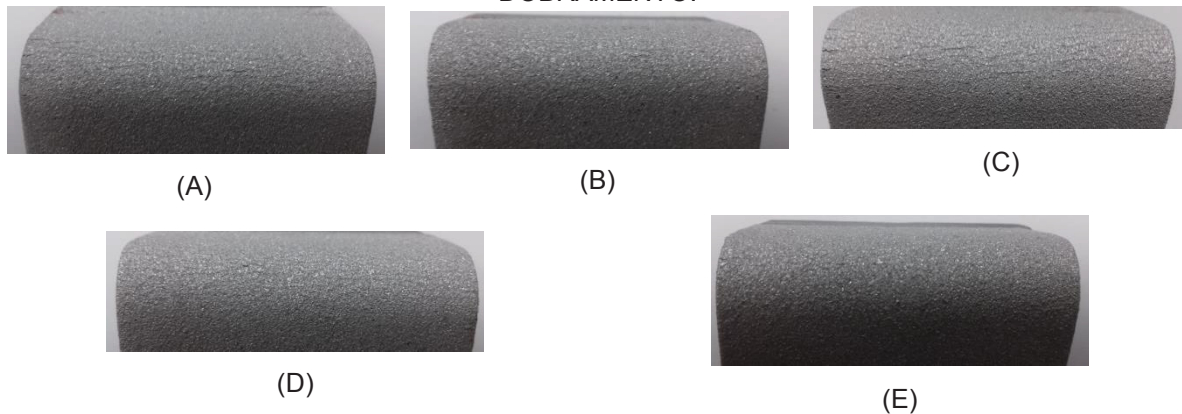
Os corpos de prova dos experimentos com preparação de superfície através do sistema de jateamento por sucção (Pinovo) apresentaram resultados de normal a marginal. Sendo assim, podem ser considerados aprovados quanto a preparação da superfície, ajuste do equipamento de aspersão, ajuste do procedimento de aplicação.

Os corpos de prova dos experimentos S1 e S7 com preparação de superfície através do sistema de jateamento por esponja (Sponge-jet) apresentaram resultados de marginal a rejeitada. Sendo assim, alguns corpos de prova foram considerados reprovados. Já os corpos de prova do experimento S9 apresentaram resultados adequados.

Deve-se ressaltar aqui que não há uma correlação clara dos motivos que levaram aos resultados rejeitados S1 e S7, pois os valores de rugosidade são similares ou até superiores aos observados nas amostras P2, P4 e P5. Assim como os valores de espessura podem ser considerados próximos, tanto jateados com Pinovo como os jateados com Spongejet.

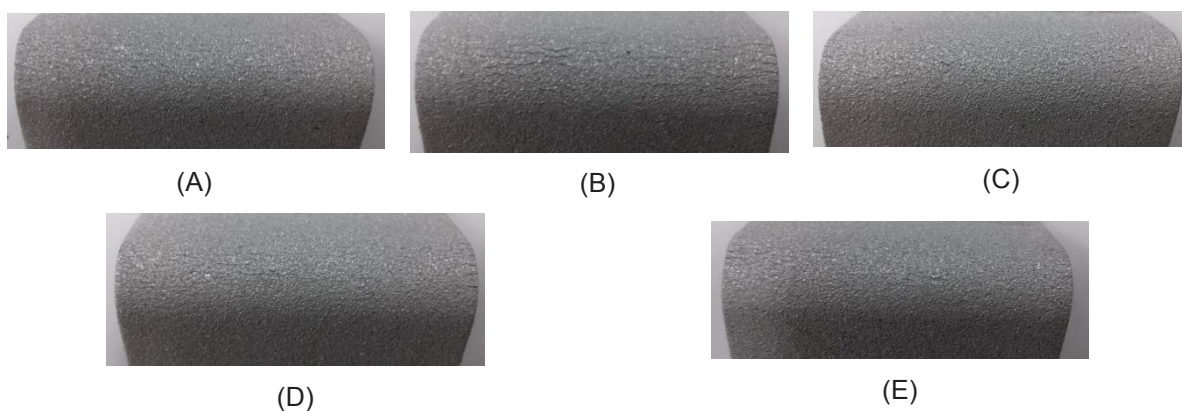
A FIGURA 73, FIGURA 74, FIGURA 75, FIGURA 76, FIGURA 77 e FIGURA 78 contêm as imagens dos corpos de prova após ensaio de dobramento dos experimentos P2, P4, P5, S1, S7 e S9, respectivamente.

FIGURA 73 - EXPERIMENTO P2, (A),(B),(C),(D) E (E) CORPOS DE PROVA APÓS ENSAIO DE DOBRAMENTO.



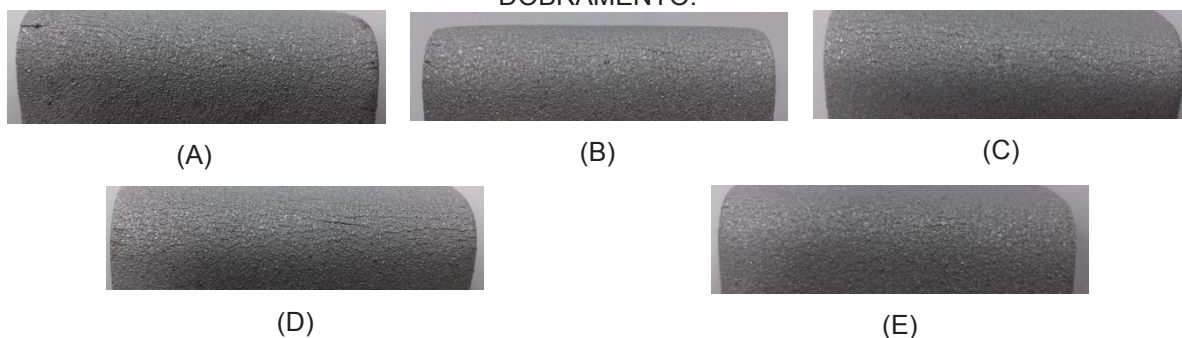
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 74 - EXPERIMENTO P4, (A),(B),(C),(D) E (E) CORPOS DE PROVA APÓS ENSAIO DE DOBRAMENTO.



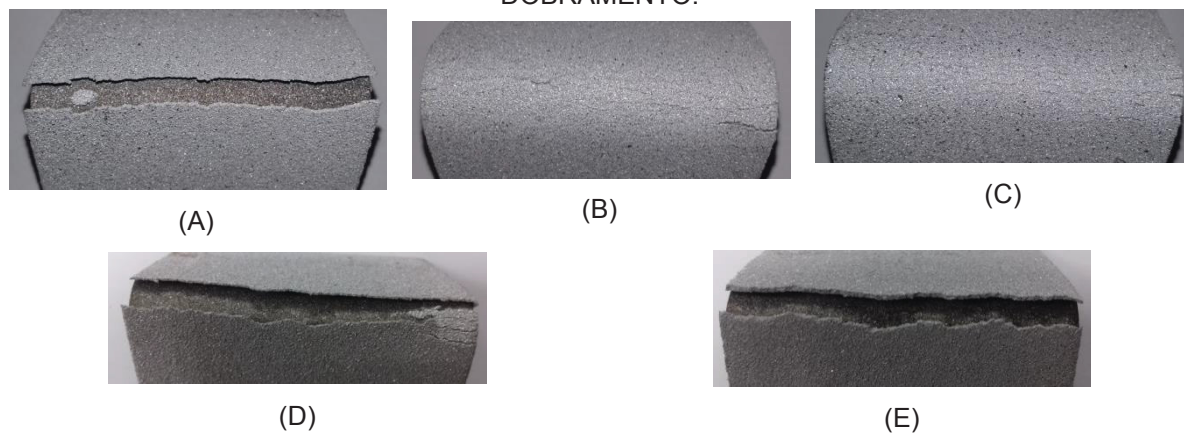
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 75 - EXPERIMENTO P5, (A),(B),(C),(D) E (E) CORPOS DE PROVA APÓS ENSAIO DE DOBRAMENTO.



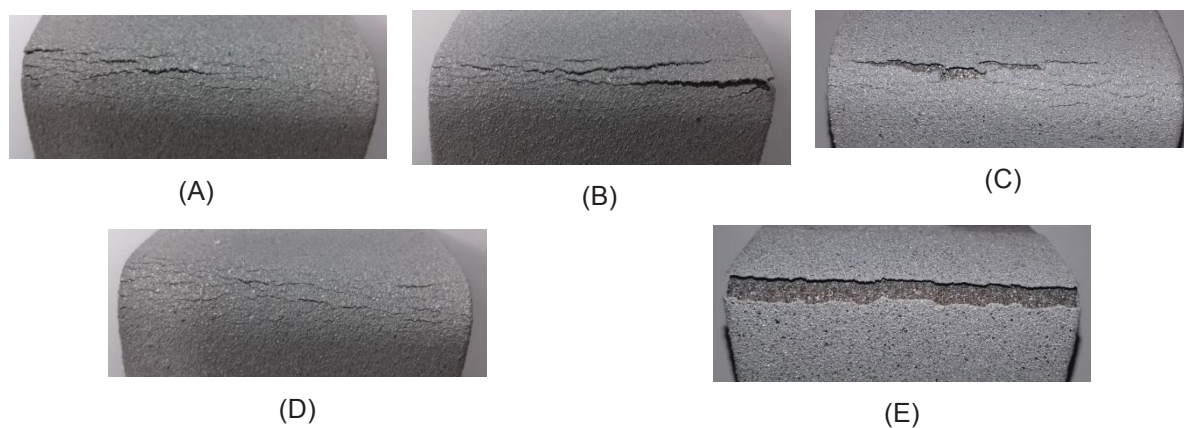
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 76 - EXPERIMENTO S1, (A),(B),(C),(D) E (E) CORPOS DE PROVA ENSAIO DE DOBRAMENTO.



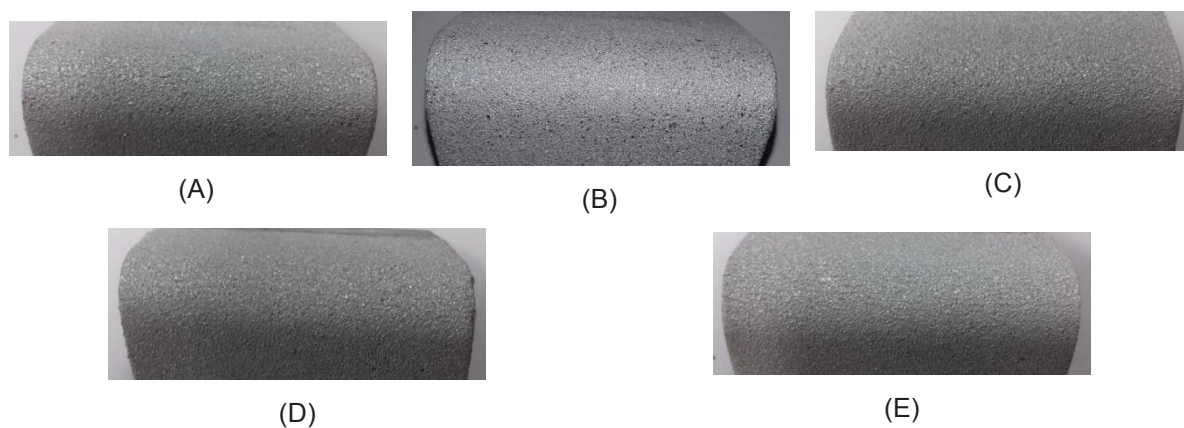
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 77 - EXPERIMENTO S7, (A),(B),(C),(D) E (E) CORPOS DE PROVA APÓS ENSAIO DE DOBRAMENTO.



FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 78 - EXPERIMENTO S9, (A),(B),(C),(D) E (E) CORPOS DE PROVA APÓS ENSAIO DE DOBRAMENTO.



FONTE: A Autora (2017).

7.5 ENSAIO DE ADERÊNCIA

Os resultados de aderência dos revestimentos obtidos para as amostras depositadas são apresentados na Tabela 15 assim como, o modo de falha e a indicação da figura correspondente às amostras após ensaio.

TABELA 15 - RESULTADOS DE ADERÊNCIA OBTIDA ATRAVÉS DE ENSAIO CONFORME NORMA ASTM D4541 (MPa).

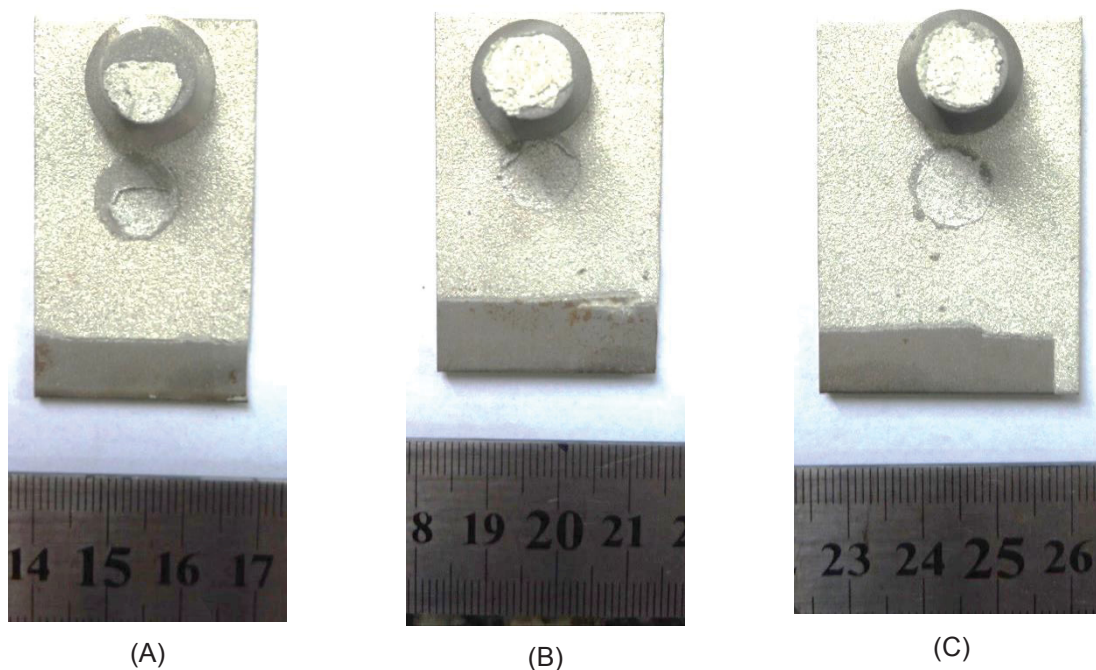
Experimento	Material Substrato	Valor Encontrado	Modo de Falha	Figura
P2	AISI 1020	18,52	Coesiva/No Adesivo	79 (a)
	AISI 1045	21,63	Coesiva	79 (b)
	AISI 1045T	26,03	Coesiva	79 (c)
P4	AISI 1020	9,91	Coesiva/No Adesivo	80 (a)
	AISI 1045	24,15	Coesiva	80 (b)
	AISI 1045T	18,66	Coesiva	80 (c)
P5	AISI 1020	18,57	Coesiva	81 (a)
	AISI 1045	23,75	Coesiva	81 (b)
	AISI 1045T	21,56	Coesiva	81 (c)
S1	AISI 1020	16,53	Adesiva	82 (a)
	AISI 1045	22,39	Adesiva/Coesiva	82 (b)
	AISI 1045T	23,75	Adesiva/Coesiva	82 (c)
S7	AISI 1020	16,63	Adesiva	83 (a)
	AISI 1045	19,78	Adesiva	83 (b)
	AISI 1045T	23,70	Adesiva	83 (c)
S9	AISI 1020	16,56	Adesiva	84 (a)
	AISI 1045	22,02	Adesiva	84 (b)
	AISI 1045T	23,80	Adesiva	84 (c)

FONTE: A Autora (2018).

A falha prematura, ou seja, com uma tensão abaixo da esperada, quando ocorre da forma coesiva é coerente se dizer que o problema se deu, principalmente, devido aos parâmetros de processo. Porém, os resultados encontrados para todas as amostras ensaiadas não apresentaram falha prematura visto que, todos os valores individuais foram acima de 7 MPa, valor este estabelecido pela norma Petrobrás N-2569.

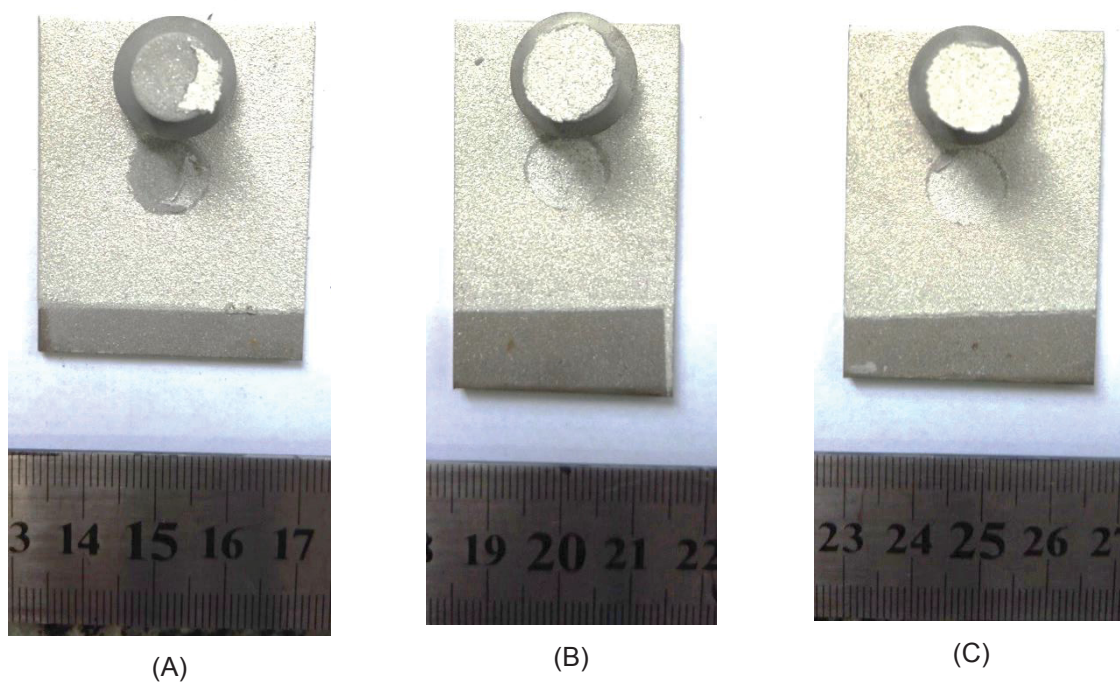
A falha prematura, da forma adesiva indica que o problema pode estar tanto na preparação superficial, como nos parâmetros de deposição. Nenhuma das amostras preparadas através de equipamento Pinovo apresentou falha adesiva, demonstrando que não houve problemas na preparação superficial. Já as amostras preparadas com equipamento Sponge-jet apresentaram em sua maioria falha adesiva, porém os resultados encontrados não apresentaram falha prematura visto que, todos os valores individuais foram acima de 7MPa.

FIGURA 79 - EXPERIMENTO P2, ASPECTO DAS AMOSTRAS (A) 1020, (B) 1045 E (C) 1045T APÓS ENSAIO DE ADERÊNCIA.



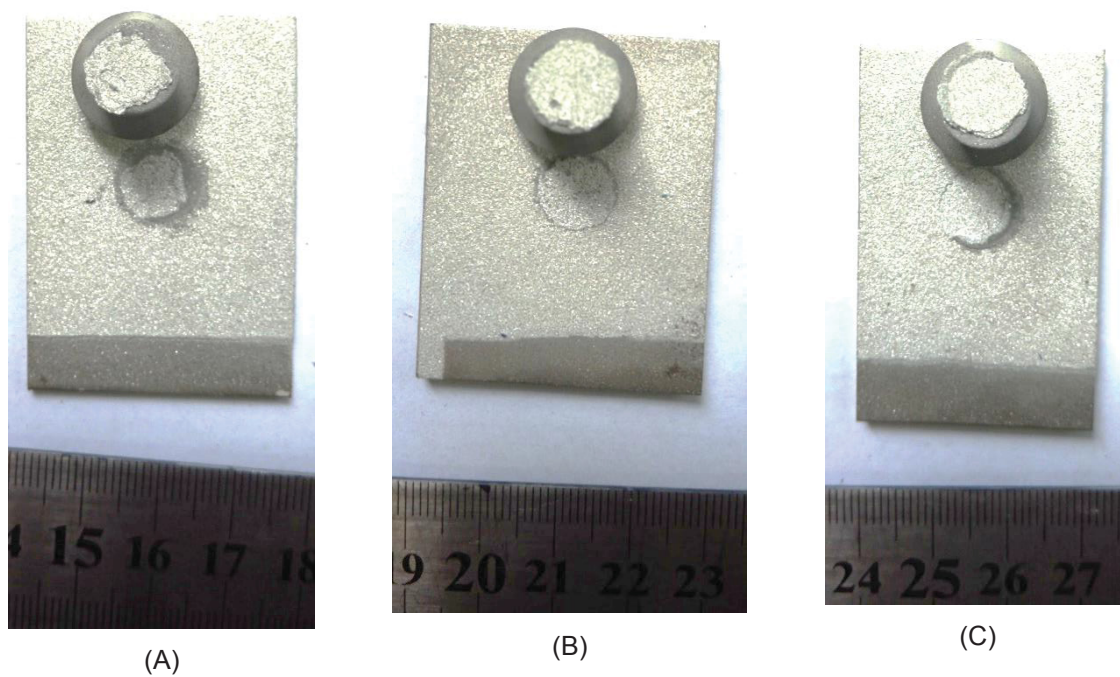
FONTE: A Autora (2018).

FIGURA 80 - EXPERIMENTO P4, ASPECTO DAS AMOSTRAS (A) 1020, (B) 1045 E (C) 1045T APÓS ENSAIO DE ADERÊNCIA.



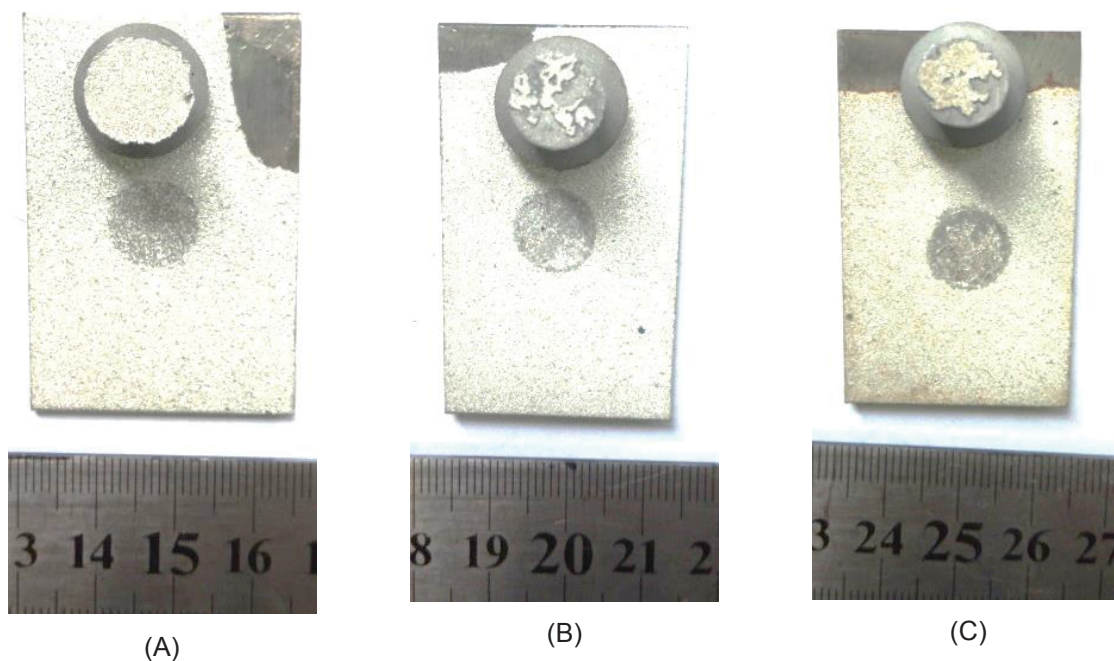
FONTE: A Autora (2018).

FIGURA 81 - EXPERIMENTO P5, ASPECTO DAS AMOSTRAS (A) 1020, (B) 1045 E (C) 1045T APÓS ENSAIO DE ADERÊNCIA.



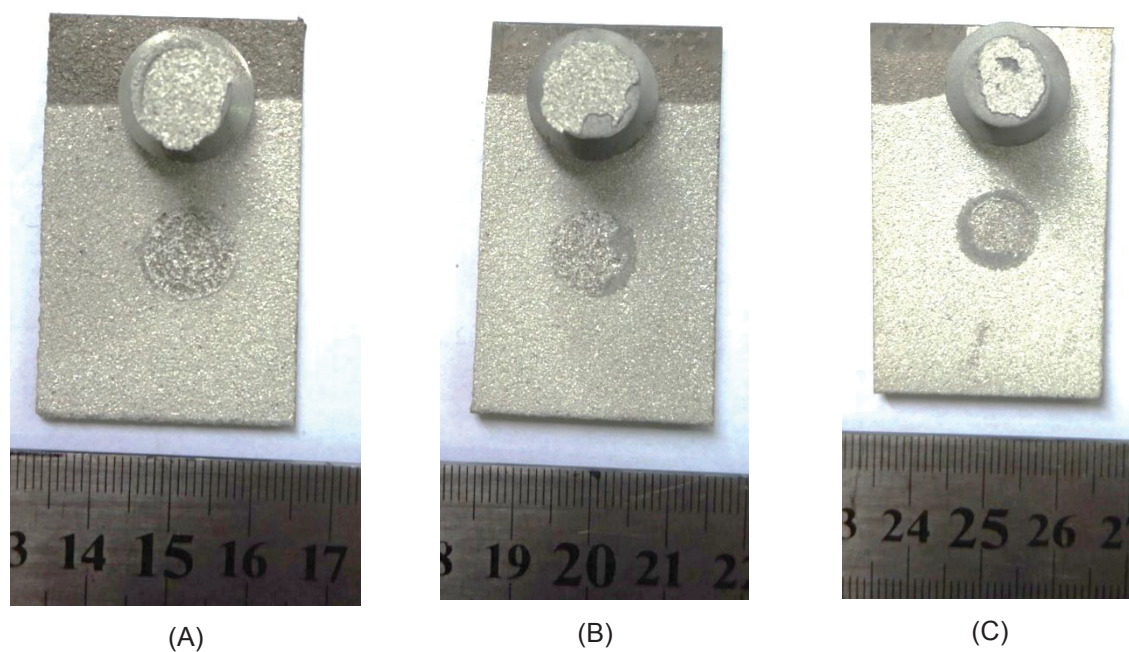
FONTE: A Autora (2018).

FIGURA 82 - EXPERIMENTO S1, ASPECTO DAS AMOSTRAS (A) 1020, (B) 1045 E (C) 1045T APÓS ENSAIO DE ADERÊNCIA.



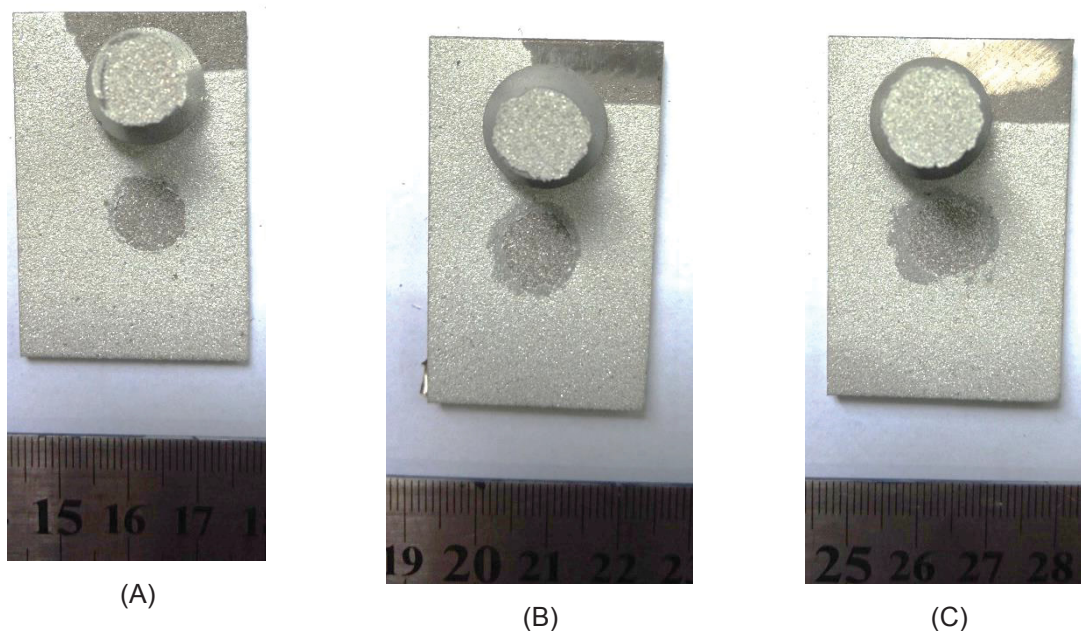
FONTE: A Autora (2018).

FIGURA 83 - EXPERIMENTO S7, ASPECTO DAS AMOSTRAS (A) 1020, (B) 1045 E (C) 1045T APÓS ENSAIO DE ADERÊNCIA.



FONTE: A Autora (2018).

FIGURA 84 - EXPERIMENTO S9, ASPECTO DAS AMOSTRAS (A) 1020, (B) 1045 E (C) 1045T APÓS ENSAIO DE ADERÊNCIA.



FONTE: A Autora (2017).

Visto que, a cola utilizada para os ensaios de aderência em equipamento portátil obtiveram resultados coerentes, foi realizado ensaio de aderência conforme normas ASTM C633 para validar os resultados obtidos nos ensaios realizados conforme norma ASTM D4541.

Desta maneira, a análise da aderência foi realizada considerando os diferentes tipos de preparação de superfície através do jateamento por sucção (Pinovo) nos três diferentes materiais de substrato e três repetições. Os resultados de aderência dos revestimentos obtidos para as amostras depositadas são apresentados na TABELA 16.

TABELA 16 - RESULTADOS DE ADERÊNCIA OBTIDA ATRAVÉS DE ENSAIO CONFORME NORMA ASTM C633 (MPa) (PINOVO).

Experimento	Material Substrato	Medição			Valor Médio Encontrado (MPa)	Modo de Falha
		01	02	03		
P2	AISI 1020	21,20	21,83	21,50	21,51	Coesiva
	AISI 1045	19,69	20,57	23,15	21,14	Coesiva
	AISI 1045T	21,58	19,80	19,52	20,30	Coesiva
P4	AISI 1020	22,72	20,8	19,64	21,05	Coesiva
	AISI 1045	19,26	20,22	18,82	19,43	Coesiva
	AISI 1045T	18,27	19,05	15,23	17,52	Coesiva
P5	AISI 1020	21,05	20,63	22,06	21,25	Coesiva
	AISI 1045	19,88	19,40	20,96	20,08	Coesiva
	AISI 1045T	18,76	19,72	17,70	18,73	Coesiva

FONTE: A Autora (2017).

Os resultados obtidos nos ensaios de aderência e as falhas identificadas nas amostras com preparo de superfície através de equipamento Pinovo foram semelhantes quanto avaliadas através das normas ASTM C633 e ASTM D4541.

7.6 ANÁLISE DE POROSIDADE E NÍVEL DE ÓXIDOS

A presença de porosidade é inerente ao processo de deposição de materiais por aspersão térmica afetando as propriedades físicas, como condutividade elétrica e térmica, além de reduzir a coesão e aderência das camadas ao substrato. Quando a porosidade é passante e interconectada tem-se uma redução da resistência a corrosão (Petrobrás N2568).

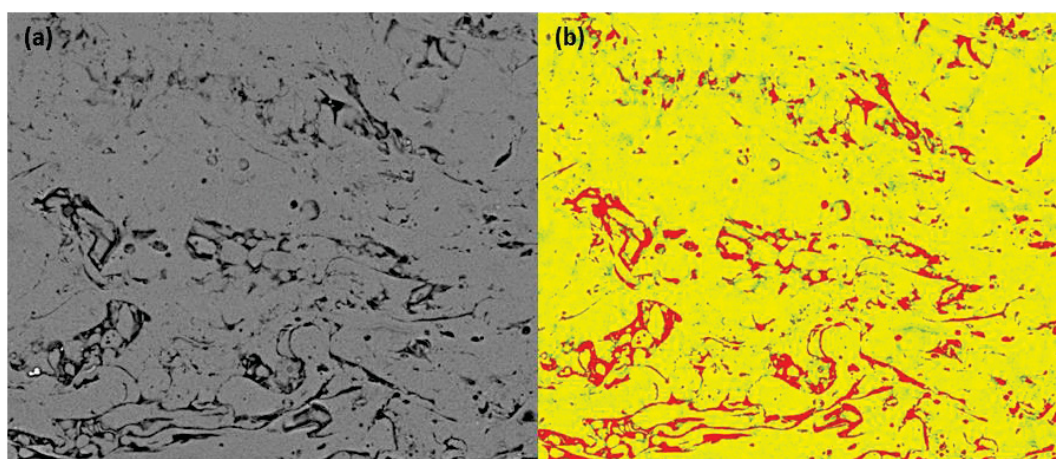
A análise de porosidade e nível de óxidos foi realizada em três regiões distintas e aleatórias de cada amostra. O resultado desta medição encontra-se na TABELA 17.

TABELA 17 - RESULTADO DE MEDIÇÃO DE POROS E ÓXIDOS DOS REVESTIMENTOS DEPOSITADOS (%).

Experimento	Poros (%)			Óxidos (%)		
	Região A	Região B	Região C	Região A	Região B	Região C
P2	7,81	7,39	8,58	3,54	3,95	3,81
P4	3,65	11,96	6,88	1,58	2,38	1,61
P5	3,99	2,46	3,15	3,31	1,78	2,46
S1	5,68	5,78	5,18	5,87	5,8	7,15
S7	7,23	8,83	11,88	1,7	2,11	1,85
S9	7,81	7,39	8,58	3,54	3,95	3,81

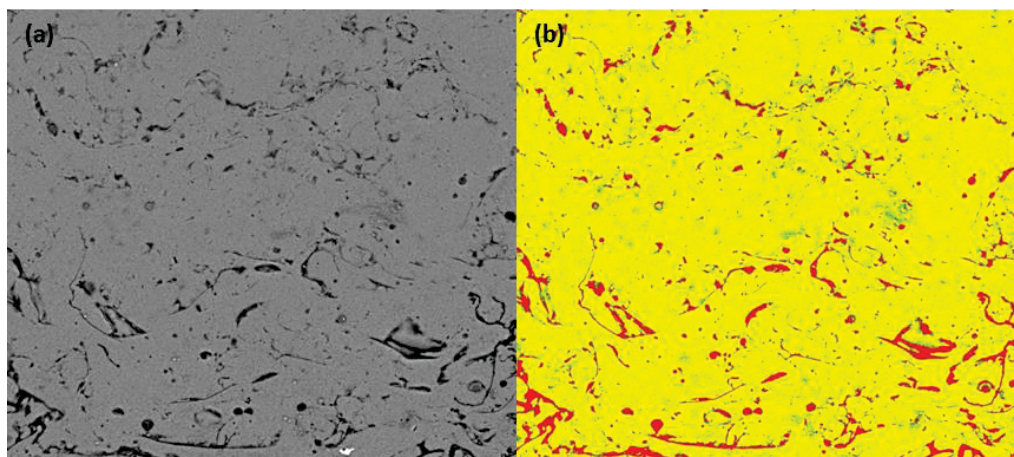
A FIGURA 86, FIGURA 86 e FIGURA 87 apresentam as três regiões onde foram realizadas as análises da fração de óxidos e poros para o experimento P2. Para esses revestimentos a média fração de óxidos encontrados foi de 5,61% e de poros foi de 9,54%.

FIGURA 85 - EXPERIMENTO P2, REGIÃO A. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).



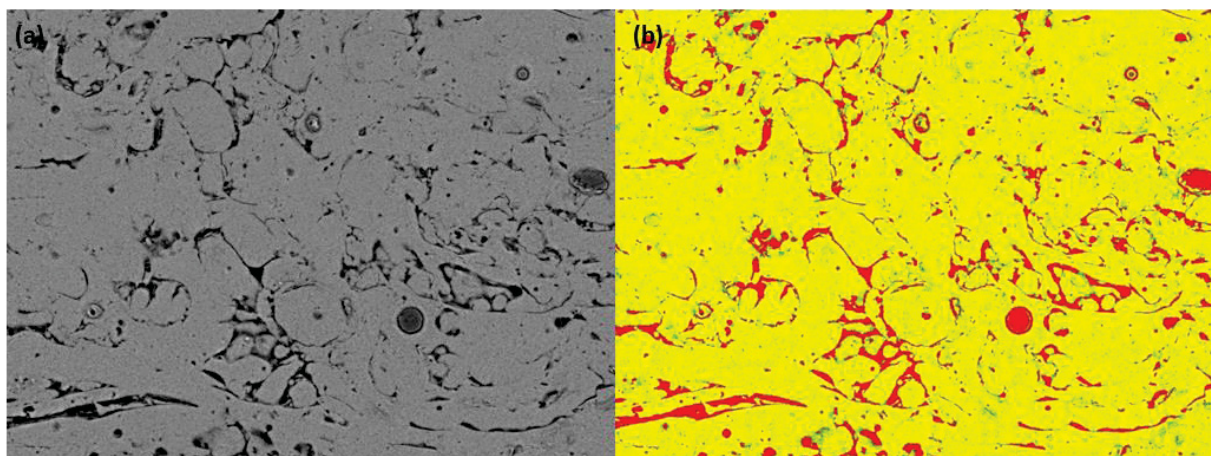
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 86 - EXPERIMENTO P2, REGIÃO B. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).



FONTE: A Autora (2017).

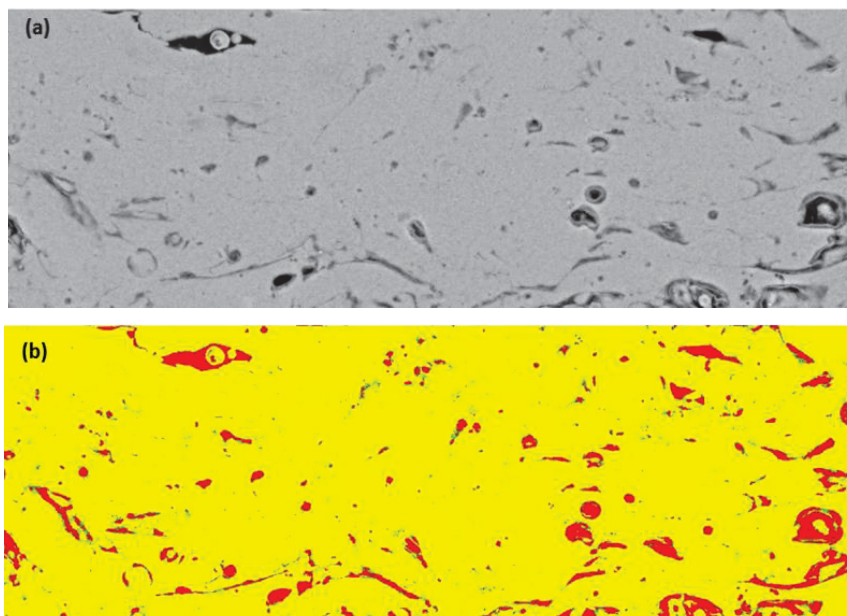
FIGURA 87 - EXPERIMENTO P2, REGIÃO C. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).



FONTE: A Autora (2017).

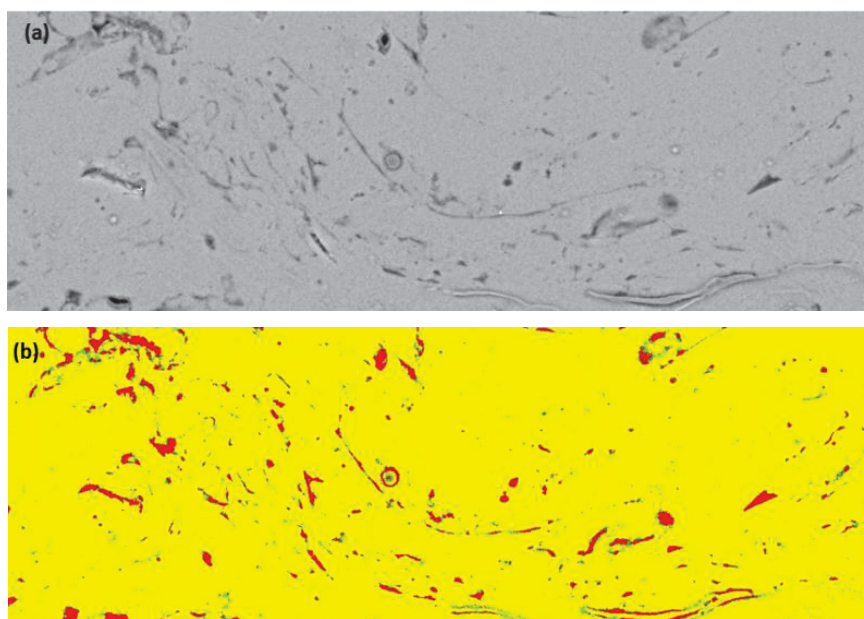
A FIGURA 89, FIGURA 90 e FIGURA 90 apresentam as três regiões onde foram realizadas as análises da fração de óxidos e poros para o experimento P4. Para esses revestimentos a fração de óxidos encontrados foi de 1,86% e de poros foi de 7,50%.

FIGURA 88 - EXPERIMENTO P4, REGIÃO A. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).



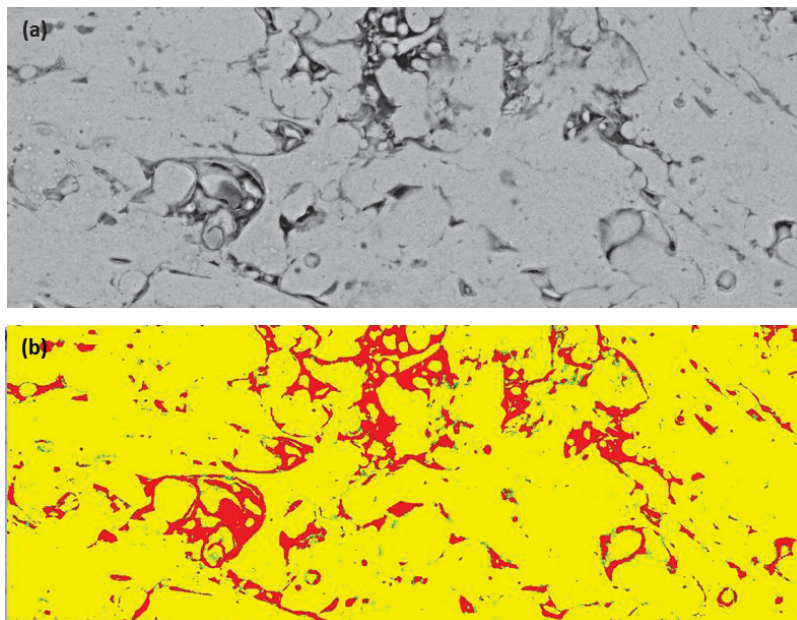
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 89 - EXPERIMENTO P4, REGIÃO B. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).



FONTE: A Autora (2017).

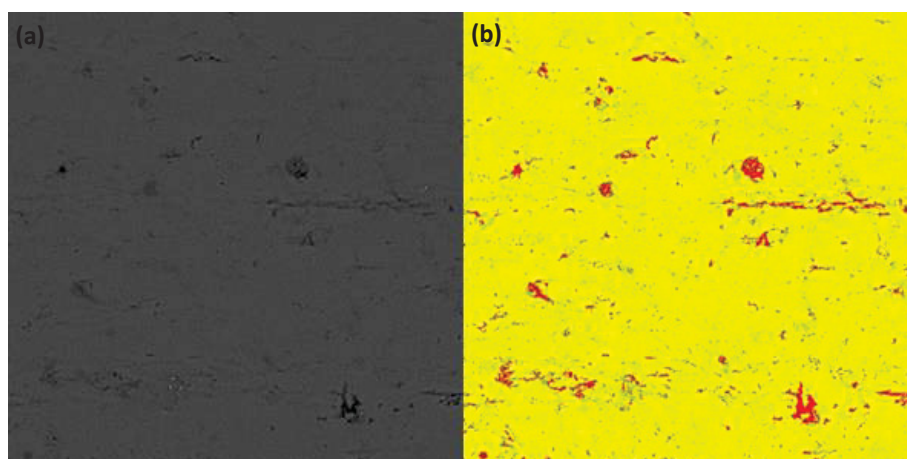
FIGURA 90 - EXPERIMENTO P4, REGIÃO C. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).



FONTE: A Autora (2017).

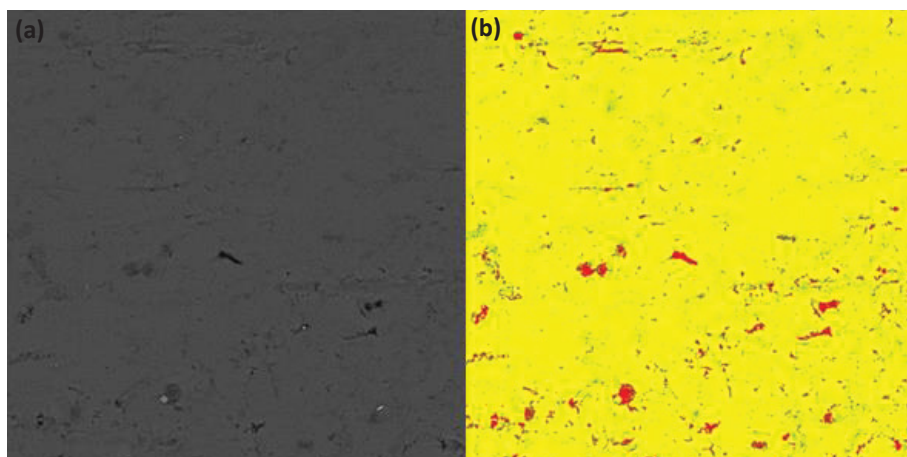
A FIGURA 92, FIGURA 93 e FIGURA 93 apresentam as três regiões onde foram realizadas as análises da fração de óxidos e poros para o experimento P5. Para esses revestimentos a fração de óxidos encontrados foi de 2,52% e de poros foi de 3,20%.

FIGURA 91 - EXPERIMENTO P5, REGIÃO A. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).



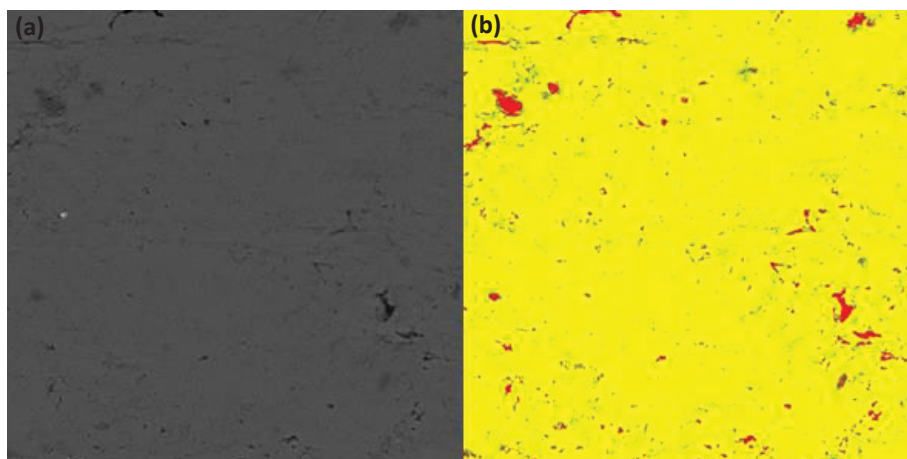
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 92 - EXPERIMENTO P5, REGIÃO B. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).



FONTE: A Autora (2017).

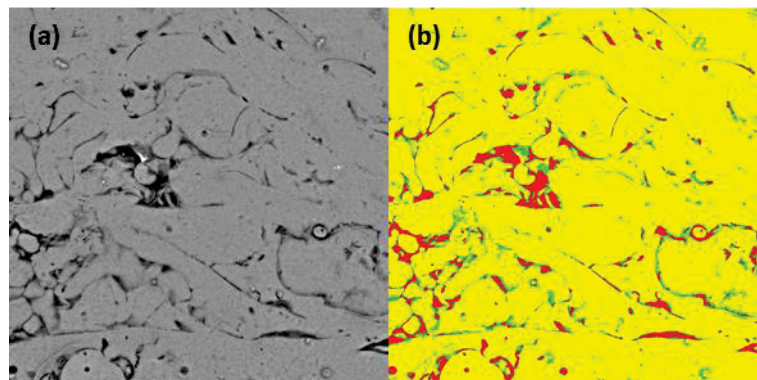
FIGURA 93 - EXPERIMENTO P5, REGIÃO C. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).



FONTE: A Autora (2017).

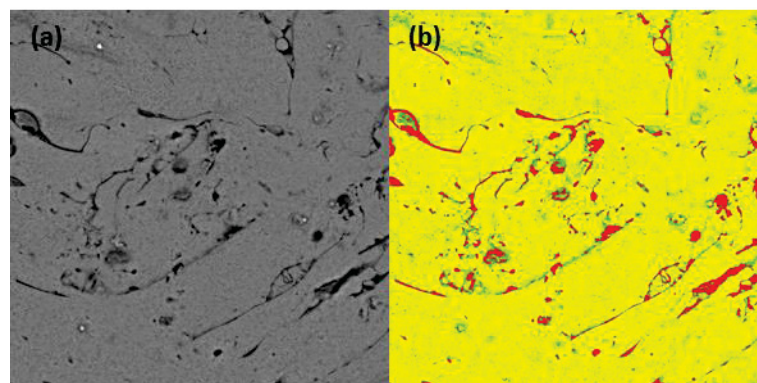
FIGURA 95, FIGURA 96 e FIGURA 96 apresentam as três regiões onde foram realizadas as análises da fração de óxidos e poros para o experimento S1. Para esses revestimentos a fração de óxidos encontrados foi de 6,27% e de poros foi de 5,55%.

FIGURA 94 - EXPERIMENTO S1, REGIÃO A. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).



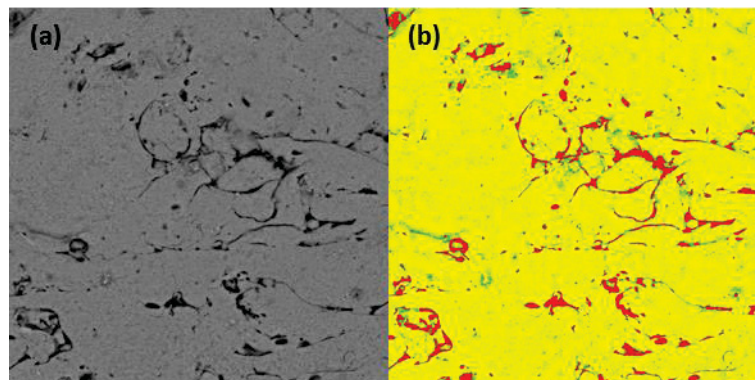
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 95 - EXPERIMENTO S1, REGIÃO B. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).



FONTE: A Autora (2017).

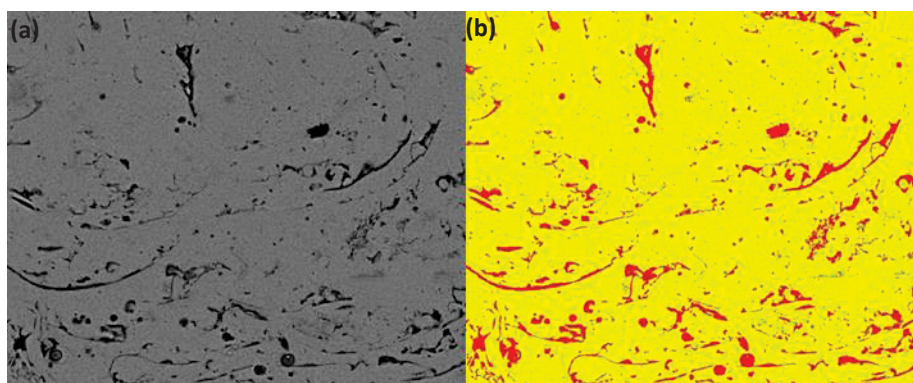
FIGURA 96 - EXPERIMENTO S1, REGIÃO C. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).



FONTE: A Autora (2017).

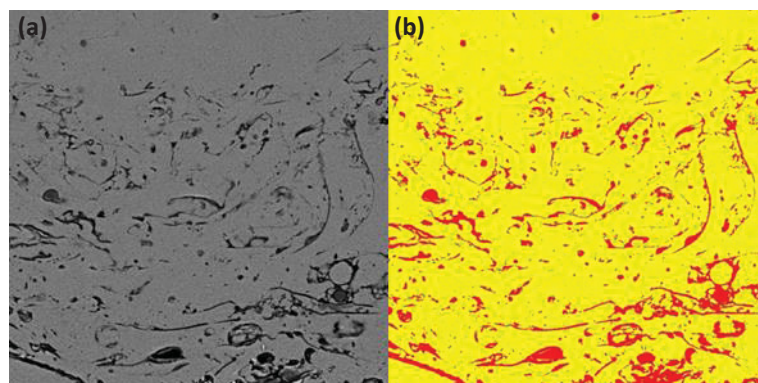
A FIGURA 98, FIGURA 99 e FIGURA 99 apresentam as três regiões onde foram realizadas as análises da fração de óxidos e poros para o experimento S7. Para esses revestimentos a fração de óxidos encontrados foi de 1,89% e de poros foi de 9,31%.

FIGURA 97 - EXPERIMENTO S7, REGIÃO A. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).



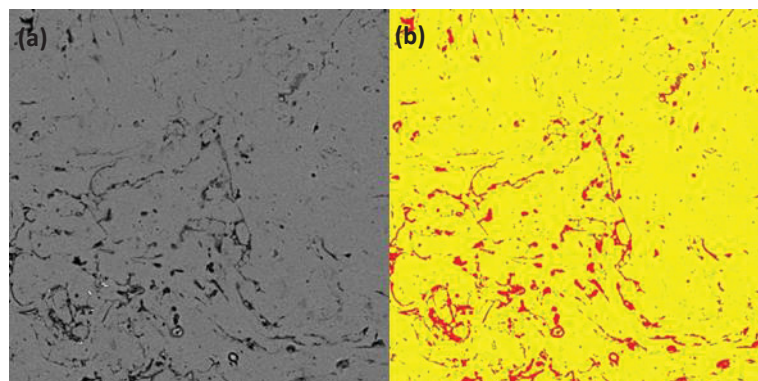
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 98 - EXPERIMENTO S7, REGIÃO B. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).



FONTE: A Autora (2017).

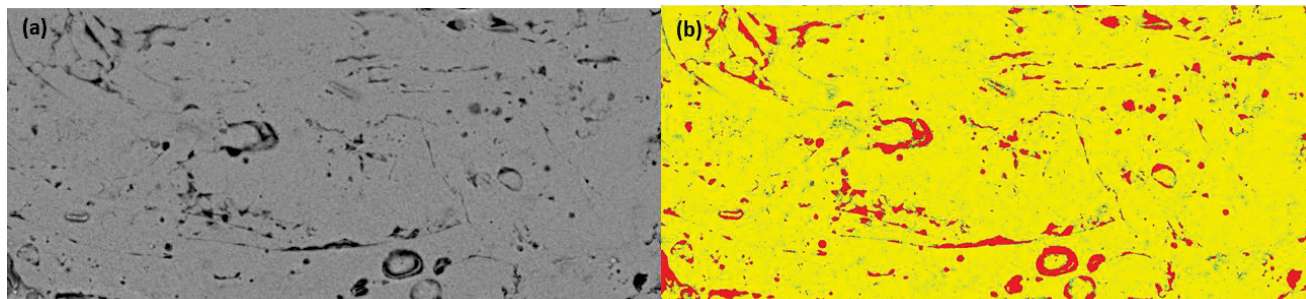
FIGURA 99 - EXPERIMENTO S7, REGIÃO C. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).



FONTE: A Autora (2017).

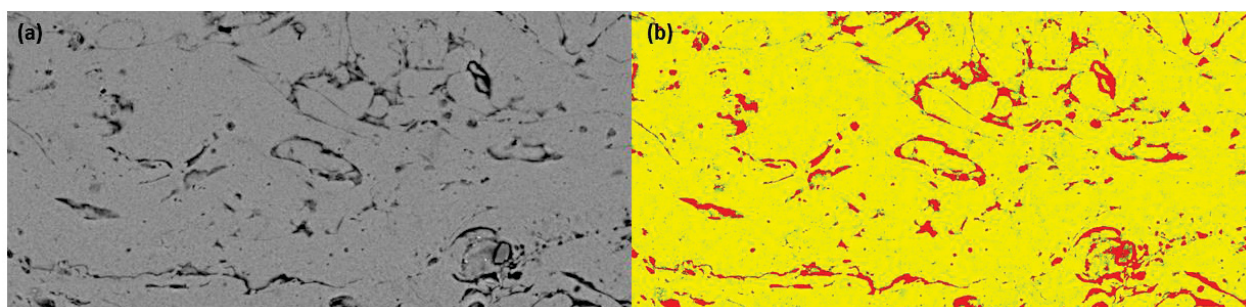
A FIGURA 101, FIGURA 101 e FIGURA 102 apresentam as três regiões onde foram realizadas as análises da fração de óxidos e poros para o experimento S9. Para esses revestimentos a fração de óxidos encontrados foi de 3,77% e de poros foi de 7,93%.

FIGURA 100 - EXPERIMENTO S9, REGIÃO A. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).



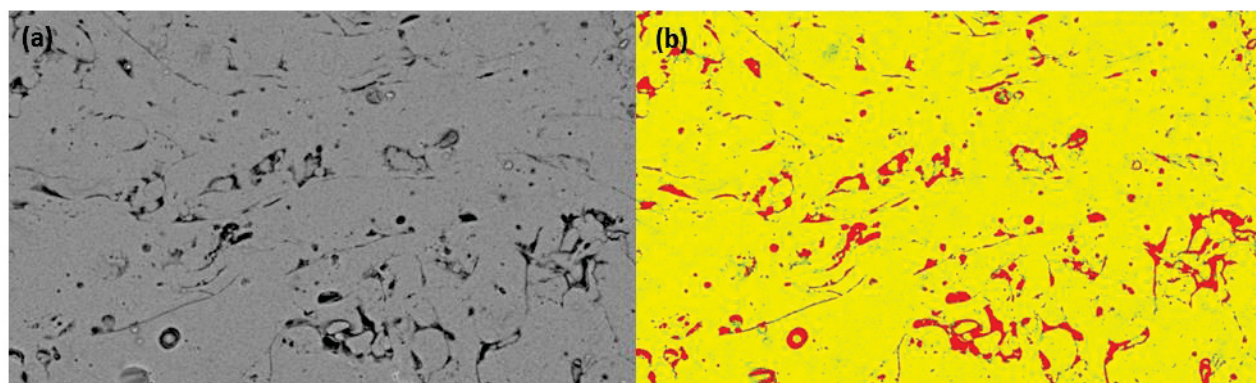
FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 101 - EXPERIMENTO S9, REGIÃO B. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).



FONTE: A Autora (2017).

FIGURA 102 - EXPERIMENTO S9, REGIÃO C. (A) MEV DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO REVESTIMENTO DEPOSITADO E (B) MICROCONSTITUINTES IDENTIFICADOS COM COLORAÇÕES DISTINTAS (POROS: VERMELHO, ÓXIDO: VERDE E FASE METÁLICA: AMARELO).



FONTE: A Autora (2017).

8 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos para os diferentes processos de jateamento aos ensaios de rugosidade, nível de partícula incrustada, dobramento, aderência e morfologia lamelar do revestimento, foi possível concluir que:

- Diferentes materiais de substrato apresentam diferentes valores de rugosidade. Nos experimentos realizados com o equipamento Sponge-jet observou-se que os maiores valores de rugosidade foram encontrados no substrato 1020, seguidos dos substratos 1045T e 1045 de forma decrescente. Nos experimentos realizados com o equipamento Pinovo observou-se os valores encontrados para rugosidade são inversamente proporcionais aos valores de dureza;
- Diferentes materiais de substrato apresentaram diferentes níveis de partículas incrustadas. Nos experimentos realizados com o equipamento Sponge-jet de forma geral, quanto menor a dureza do material maior será o nível de partículas incrustadas. Essa mesma característica pode ser observada para as amostras preparadas com o equipamento Pinovo.
- As amostras preparadas com o equipamento Sponge-jet apresentam nível de partícula incrustada inferior as amostras preparadas com o equipamento Pinovo. Assim como, os valores de rugosidade encontrados para o equipamento Sponge-jet são superiores aos valores encontrados para o equipamento Pinovo.
- Os revestimentos de alumínio depositados por aspersão térmica a arco elétrico apresentam valores de aderência diferentes de acordo com uma faixa de rugosidade e nível de incrustação de partículas abrasivas. Quanto maior os valores de rugosidade e menores níveis de partículas incrustadas, maiores foram os valores de aderência.
- Rugosidade obtida sobre diferentes materiais de substratos através de diferentes processos de jateamento abrasivo;
- A morfologia das partículas do revestimento, quando avaliado nível de porosidade e fração de óxidos mostrou-se similar para todos os experimentos.

Tanto para as amostras preparadas com o equipamento Sponge-jet, quanto para as preparadas com o equipamento Pinovo.

9 RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar a deformação causada no substrato quando preparado pelo processo de jateamento Sponge-Jet e Pinovo;
- Avaliar a rugosidade dos substratos após reuso de abrasivo utilizado no jateamento Sponge-jet e Pinovo;
- Estudar a possibilidade do aquecimento do substrato após preparação pelo processo de jateamento visando identificar o nível de partículas incrustadas;

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. S., Estudo De Revestimentos Cerâmicos Sobre Substrato Metálico, Obtidos Por Deposição Física De Vapores Por Feixe De Elétrons Para Aplicação Como Barreira Térmica. Tese de Doutorado. INPE. 2005.

ASM, American Society for Metals, Surface Engineering, Materials Park, v. 5, OH, Estados Unidos, ASM Handbook, 1994.

ASM, American Society for Metals. Handbook of Thermal Spray Technology, Materials Park, OH, Estados Unidos, ASM Handbook, 2004.

ASTM C633: Standard Test Method for Adhesion or Cohesion Strength of Thermal Spray Coatings. American Standard of Testing Materials. West Conshohocken: 2008.

ASTM E2109: Standard Test Method for Determining Area Percentage Porosity of Thermal Spray Coatings. American Standard of Testing Materials. West Conshohocken: 2014.

ASTM D4541: Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers. American Standard of Testing Materials. West Conshohocken: 2002.

AWS, American Welding Society. Thermal Spray: practice, theory, and application. Estados Unidos, Florida, 1985.

CRAWMER, D. E. Thermal Spray Process. In: Handbook of Thermal Spray Technology. Materials Park: ASM, 2004.

DAVIS, J.R., Hardfacing, weld cladding, and dissimilar metal joining, In: ASM Handbook, vol. 6, Welding, Brazing and Soldering, ASM International, p. 2000-2023, 1992.

DUARTE, L. C.; JUCHEM, P. L.; PULZ, G.M.; BRUM, T. M. M.; CHODUR, N.; LICCARDO, A.; FISCHER, A. C.; ACAUAN, R. B.; Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas: exemplos brasileiros. Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do sul, 2003.

DURASCAN. Datasheet Micro Hardness Tester. 2009.

ELCOMETER, 510. Datasheet Adhesion Pull-Off. 2016.

GADELMAWLA, E.S.; KOURA M. M.; MAKSOUD, T. M. A.; ELEWA, I. M.; SOLIMAN, H. H. Roughness Parameters. Journal of Materials Processing Technology, 2002.

KENNY, E.D., 1993, Estudo do Desempenho Anticorrosivo de Revestimentos de Liga Zinco-Alumínio Aplicados sobre o Aço Carbono, tese de M. Sc., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

LACTEC, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Disponível em: <<http://www.institutoslactec.org.br/submenu-laboratorios/laboratorio-de-microscopia/>>, Acesso em: nov. 2017.

LIMA, C. R. P., Caracterização de coberturas obtidas por aspersão térmica a plasma. Tese de Doutorado, 143 p. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001.

LIMA, C.C., TREVISAN, R., Aspersão Térmica Fundamentos e Aplicações. Artliber Editora, São Paulo, Brasil, 2007.

LIRA, S. A., Planejamento de Experimentos. Apostila. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2012.

MARANHO, O. Influência da Preparação da Superfície na Aderência de Revestimentos de Alumínio Depositados por Aspersão Térmica a Chama. Tese de Mestrado, Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 1996.

MENEZES, D. D., Avaliação da resistência à corrosão de revestimentos de alumínio aplicados pelas técnicas de arco elétrico e chama convencional, em meio cloreto. 178 f. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

MENEZES, D. D., Avaliação da resistência à corrosão de revestimentos metálicos depositados por aspersão térmica, em meio cloreto. Tese de Mestrado, Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

METALLISATION, Thermal Spray Equipment and Consumables. Maintenance Manual S250/S350(16) ARC140 Energiser with closed loop current control. 2016.

MITUTOYO. Portable Surface Roughness Tester Surftest Sj-210 Series. 2016.

OERLIKON. Coating Materials: Thermal Spray. Oerlikon Metco. Disponível em: <<http://www.oerlikon.com/metco/en/products-services/coating-materials/coating-materials-thermal-spray>>, acesso em: mar. 2016.

OLYMPUS. BXiS Metallurgical Microscope System: Seamless Integration of Digital Imaging. 2014.

PANCEWICZ, T; MRUK, I. Holographic controlling for determination of 3D description of surface roughness, 1996.

PANOSIAN, Z., Revestimentos Metálicos para Proteção contra Corrosão, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Florianópolis. 2001.

PAREDES, R. S. C., Aspersão Térmica. Texto Guia. (Curso de Especialização em Engenharia de Materiais Metálicos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

PAREDES, R. S. C., Informações sobre Jateamento – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

PAWLOWSKI, L., The science and engineering of thermal spray coatings. 2nd ed., p-59-60, John Wiley & Sons Ltd. 2007.

PETROBRAS, Norma N2568. Revestimentos Metálicos por Aspersão Térmica. 2011.

PINOVO. Product Datasheet Pinov PiSys™. 2013.

PUKASIEWICZ, A. G. M., Desenvolvimento de Revestimentos Fe-Mn-Cr-Si-Ni Resistentes à Cavitação Depositados por Aspersão ASP, Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais e Processos da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008,

ROY, R. K., Design of Experiments Using the Taguchi Approach: 16 Steps to Product and Process Improvement. New York: John Wiley & Sons, 2001.

SCHIEFLER FILHO, M. F. O., Estudo microestrutural e eletroquímico de revestimentos metálicos depositados por aspersão térmica. Tese de Doutorado, 313f. Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

SIS 05 59 00. Preparation of steel substrates before application of paints and related products - visual assessment of surface cleanliness, pt 1 rust grades & preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous. 1988.

SPONGE-JET, INC., Comparando Tecnologias de Jateamento Abrasivo, 2007.

SPONGE-JET, INC., Sponge Media™ para substrates sensíveis, 2008.

STACHOWIAK, G; BATCHELOR, A. Engineering Tribology, 2001

SUCHARSKI, G. B. , Deposição de Revestimentos Tipo Barreira Térmica por Aspersão Térmica, Tese de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

SUCHARSKI, G. B. Estudo da Erosão Por Cavitação Sobre Diferentes Morfologias De Revestimentos De Femncrsib Aplicados Por Aspersão Térmica Chama Fs E Hvof Com Tratamento De Shot Peening, Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

SULZER. An Introduction to Thermal Spray. Sulzer Metco, v. 4, n. 4, Suíça, 2012.

TAGUCHI, G., et. al. Engenharia da Qualidade em Sistemas de Produção. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

TAKIMI, A. S., Obtenção de superligas de NiCrAlY nanoestruturadas por moagem de alta energia e sua aplicação por aspersão térmica hipersônica (HVOF). Dissertação de mestrado. Porto Alegre: UFRGS, 2004.

TEAGUE, E. C.; SCIRE, F. E.; BARKER, S. M.; JENSEN, S. W.; 3-Dimensional stylus profilometry, Wear v.83, ed.1, p.1-12, 1982.

VÁZ, R. F. , Estudo de Partículas Metálicas Aspergidas Pelo Processo de Aspersão Térmica Por Arco Elétrico, Tese de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

WANG, X.; HEBERLEIN, J.; PFENDER, E.; GERBERICH, W. Effect Nozzle Configuration, Gas Pressure, and Type on Coating Properties in Wire Arc Spray. Journal of Thermal Spray Technology, v. 8, p. 565-575, 1999.

ANEXO 1

A TABELA 18 contém os resultados encontrados para cada cola, neste ensaio é realizada a colagem da *dolly* diretamente na amostra sem revestimento (somente jateada), verificando assim a resistência a tração somente da cola. É possível notar que os valores encontrados para a Cola Epoxi ARALDITE® Profissional Brascola tiveram melhores resultados se comparado com a Cola Epoxi LOCTITE® Hysol E-00CL.

TABELA 18 - RESULTADOS DE ADERÊNCIA OBTIDA COM COLA ARALDITE E LOCTITE (MPA).

Cola	ARALDITE®	LOCTITE®
CP1	17,11	7,32
CP2	16,13	13,48
CP3	18,15	14,45
Média	17,13	11,75

FONTE: A Autora (2018)